AULA

46

Fresando com aparelho divisor

Na aula passada você viu como fresar ranhuras retas do tipo T, trapezoidal e de chaveta. Nesta aula você vai aprender como fresar utilizando o aparelho divisor universal.

Como você deve estar lembrado (**Cálculo Técnico**), o aparelho divisor é um acessório utilizado na máquina fresadora para fazer divisões no movimento de giro da peça. As divisões são muito úteis, quando se quer fresar com precisão superfícies, que devem guardar uma distância angular igual à distância angular de uma outra superfície, tomada como referência.

Assim, o aparelho divisor permite fresar quadrados, hexágonos, rodas dentadas ou outros perfis, que dificilmente poderiam ser obtidos de outra maneira.

Estude bem e faça os exercícios. Não hesite em pedir ajuda ao seu orientador de aprendizagem ou a recorrer a aulas e módulos passados, caso necessário.

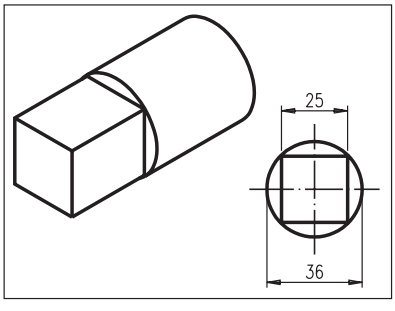
Fresar um quadrado com aparelho divisor universal

Nossa aula

O aparelho divisor universal permite fazer divisões direta, indireta e diferenciais. Nesta aula você vai ver como fresar, utilizando a divisão direta.

Os procedimentos para fresar com o aparelho divisor universal são os mesmos que para qualquer operação de fresagem. Assim, você escolhe o tipo e dimensões da fresa, dependendo do perfil que vai ser trabalhado, bem como do material da peça e da fresadora de que você dispõe.

O que muda é que agora você vai precisar fazer alguns cálculos de divisão e também aprender como fixar a peça ao aparelho divisor. Vamos ver como fazer isso ?



Vamos supor que você recebe uma peça cilíndrica, conforme desenho ao lado. Pede-se para você fresar em uma de suas extremidades um quadrado de 25 mm. Por onde começar?

- Escolha o disco divisor. Este deverá ter um número de furos múltiplo do número de superfícies a serem fresadas. Como você deve fresar um quadrado, o disco deve ter um número de furos múltiplo de 4, não é mesmo? Então vamos supor que você tenha escolhido um disco de 24 furos.

- Calcule o número de furos ou encaixes do disco divisor. Com este cálculo, você vai saber exatamente quantos furos devem ser deslocados para usinar cada superfície do perfil desejado, em relação à primeira. Veja a fórmula abaixo:

$$E = \frac{D}{N}$$

D = número de furos do disco divisor
N = divisões a efetuar
E = número de furos a deslocar

Substituindo vem:

$$E = \frac{24}{4}$$

$$E = 6$$

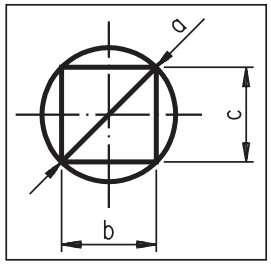
Então, você deve deslocar 6 furos no disco de 24, para usinar as superfícies do quadrado. Como o diâmetro da peça tem 36 mm, será que é possível fresar o quadrado de 25×25 de lado como pedido? Qual a solução? Calcular o diâmetro mínimo que a peça deve ter.

- Calcule o diâmetro mínimo da peça. Veja a fórmula abaixo:

$$a_2 = b_2 + c_2$$

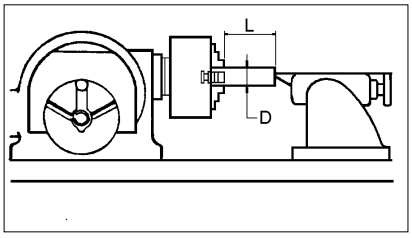
Substituindo vem :

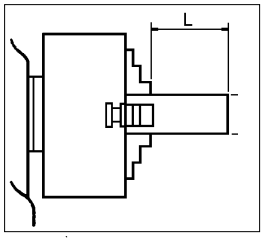
$$a^2 = 25^2 + 25^2$$
$$a^2 = 625 + 625$$
$$a^2 = 1250$$
$$a = \sqrt{1250}$$
$$a = 35{,}35$$



Com este cálculo, você encontrou que o diâmetro mínimo da peça é de, aproximadamente, 35,35 mm. Portanto, é possível fazer o quadrado, visto que a peça tem 36 mm de diâmetro. Com isso, você pode passar à fresagem.

- Fixe a peça. Para isso, fixe primeiramente uma das extremidades na placa do cabeçote divisor. Em seguida, a outra extremidade em um contraponta, caso o comprimento da peça (L) seja maior que 1,5 vez o diâmetro da peça (D). Se se tratar de uma peça de comprimento (L) menor que 1,5 vez o diâmetro (D), não é preciso utilizar o contraponta. Nesse caso, utilize somente a placa universal. Veja figuras abaixo:





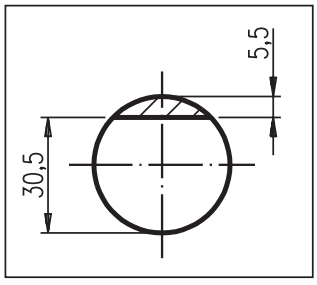
Dica tecnológica

A extremidade da peça onde será colocado o contraponta deve ser furada no torno com uma broca de centro.

- Escolha a fresa e em seguida fixe-a.
- Determine os parâmetros de corte.
- Determine a profundidade de corte. Veja como fazer.

$$a = \frac{D - d}{2}$$

a = profundidade de corte
D = diâmetro do material
d = medida do quadrado



Resolvendo, vem:

$$a = \frac{36 - 25}{2}$$

$$a = \frac{11}{2}$$

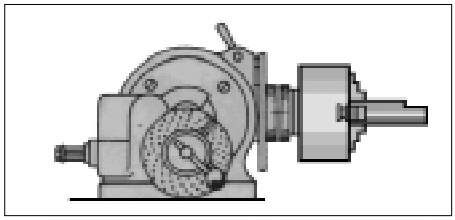
$$a = 5{,}5$$

Você tem então que, para fresar um quadrado de 25 mm em um eixo de 36 mm de diâmetro, a profundidade de corte necessária é igual a 5,5. Veja figura acima.

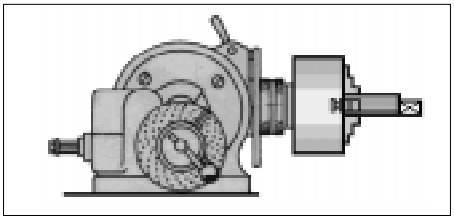
- Tangencie a superfície da peça com a fresa. Zere o anel graduado do fuso de subida da mesa.
- Retire a fresa de cima da peça.
- Suba a mesa até a profundidade de corte desejada. Usine a primeira face plana.
- Meça a face usinada. A medida encontrada deve corresponder à metade do diâmetro da peça mais a metade da medida de um lado do quadrado, como na figura acima, ou seja: 18 + 12,5 = 30,5. A figura a seguir mostra a peça fixa à placa do divisor e com uma face já usinada.

AULA

46



- Gire no divisor 6 furos para fresar a segunda superfície perpendicular à primeira. Usine as demais superfícies, seguindo o mesmo procedimento utilizado para a fresagem da segunda superfície. Não esqueça de conferir a medida a cada superfície usinada.

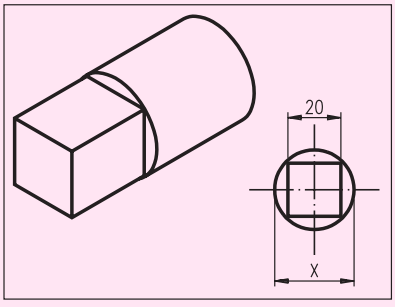


Você acabou de aprender como fresar um quadrado, utilizando o aparelho divisor universal e divisão direta. Que tal responder a algumas questões?

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Qual o mínimo diâmetro (**x**) que um material deve ter, para que se possa fresar um quadrado de lados igual a 20 mm?



Exercício 2

Com que ferramenta deve ser feito o furo de centro para fixar o contraponta à peça?

Exercício 3

Quantos furos devem ser deslocados para fazer cada uma das faces de um sextavado em uma peça, utilizando-se um disco de 18 furos no aparelho divisor?

Exercício 4

Que discos devemos utilizar para fresar oito lados equiangulares em uma peça? (Utilize a tabela de discos ao lado.)

	DISCOS		
	1	2	3
FUROS	15	21	37
	16	23	39
	17	27	41
	18	29	43
	19	31	47
	20	33	49

AULA

47

Furando com a fresadora

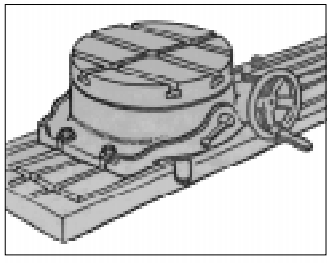
Nesta aula você vai aprender sobre a operação de furar na fresadora. Trata-se de uma operação utilizada para fazer furos de pouca precisão ou como uma operação prévia a outras operações como a de mandrilar ou alargar.

Estude bem e não hesite em rever aulas passadas para relembrar assuntos já aprendidos, como puxar coordenadas, escolher uma broca ou cálculo de rpm, entre outros.

Como furar na fresadora

Nossa aula

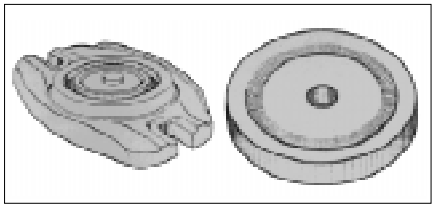
Dependendo do trabalho a ser feito, a operação de furar na fresadora é executada com uma broca. Esta é fixada diretamente na árvore horizontal ou vertical da máquina, ou por meio de um mandril porta-brocas.



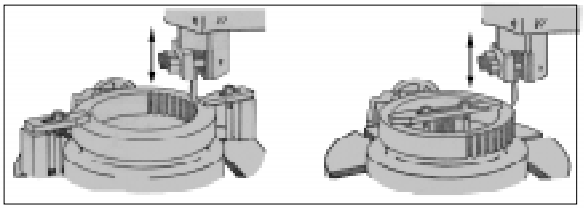
Nesta aula, vamos utilizar uma fresadora universal e fixar a broca no cabeçote vertical por meio de um mandril. A peça será fixada em uma mesa divisora com relação de 40/1. Veja, ao lado, a figura de uma mesa divisora.

Fique por dentro

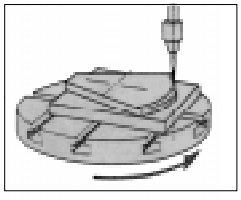
A mesa divisora é também utilizada para fresar ranhuras de trajetórias circunferenciais, abrir ranhuras internas ou externas e fresar contornos. Veja as figuras a seguir.



ranhura circunferencial



ranhuras internas e externas

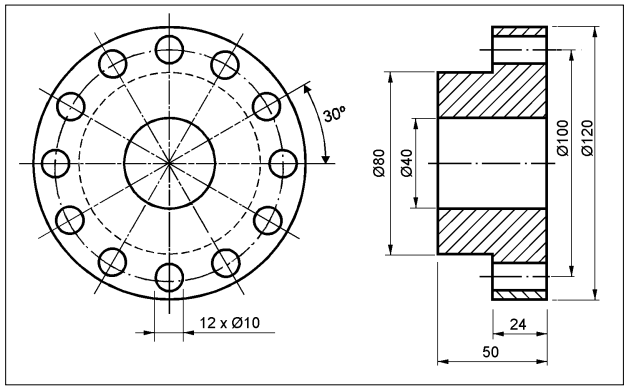


contorno

AULA
47

Vamos ver então como furar na fresadora?

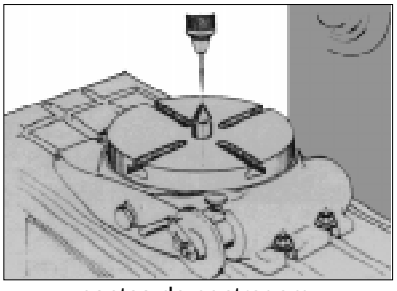
Vamos supor que você precisa fazer 12 furos distantes 30° um do outro, conforme desenho. Por onde começar?

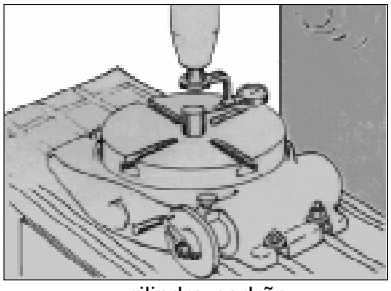


- Centralize o eixo do divisor com o eixo da árvore da fresadora.

Dica tecnológica

Você pode centralizar o eixo do divisor com a árvore da fresadora de duas maneiras. A primeira é por meio de pontos de centragem e a segunda por meio de um cilindro-padrão e relógio apalpador.


pontos de centragem


cilindro-padrão

- Fixe a peça na mesa divisora.
- Monte o disco divisor na mesa divisora. Para isso você precisa fazer o cálculo da divisão angular.

Cálculo da divisão angular

Para calcular a divisão angular, você utiliza a seguinte fórmula:

$$Vm = \frac{c \cdot \alpha}{360^{\circ}}$$

em que:

Vm = número de voltas do manípulo
c = número de dentes da coroa do divisor
α = ângulo a ser deslocado
360° = ângulo de uma volta completa

Substituindo vem:

$$Vm = \frac{40 \cdot 30}{360^o}$$

$$Vm = \frac{1200}{360^o}$$

Simplificando vem:

$$Vm = 3 \times \frac{120}{360^o} \quad \therefore \quad 3 \times \frac{6}{18}$$

O resultado mostra que para fazer furos distantes 30º uns dos outros, você vai precisar dar três voltas completas no manípulo e avançar 6 furos em um disco de 18 furos.

- Monte a broca de centro no mandril porta-brocas e regule a rpm.
- Puxe a coordenada e trave a mesa da fresadora .
- Faça os furos de centro.
- Retire a broca de centro e monte a broca helicoidal.

Recordar é aprender

As brocas helicoidais são classificadas em **H**, **N** e **W**. Assim, escolha o tipo de broca e os ângulos de afiação em função do material a usinar.

- Regule de novo a rpm.
- Inicie a furação com movimento manual. Para isso, leve a peça até à broca, fazendo com que esta penetre até o início da parte cilíndrica.

Observação: Retire com freqüência o cavaco com um pincel a fim de evitar que a broca se quebre.

- Termine a furação com o avanço automático. Para isso, situe e fixe os limitadores de fim de curso da mesa.

Dicas tecnológicas

- Refrigere com freqüência a zona de corte com fluidos de corte adequados.
- Caso a broca de trabalho tenha diâmetro superior a 12 mm, faça primeiro um furo de guia com uma broca de diâmetro ligeiramente superior a alma da broca.
- Quando for fazer furos não passantes, utilize o paquímetro ou um calibre de profundidade para verificar a profundidade. Limpe o furo antes.
- Gire o manípulo da mesa divisora no valor encontrado no cálculo, a fim de posicionar a peça para fazer o segundo furo.
- Repita o passo acima para fazer os furos restantes.
- Rebarbe os furos.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Que acessório da fresadora é utilizado para fresar ranhuras de trajetória circunferencial?

Exercício 2

Qual deve ser o diâmetro do furo de guia, se o diâmetro final de furo for maior que 12 mm?

Exercício 3

Você precisa fazer furos distantes em 45º um do outro em uma peça fixada a uma mesa divisora. Sabendo que a coroa desta mesa tem 120 dentes, determine:

a) o número de voltas que deve ser dado no manípulo;

b) o número de furos do disco a ser montado na mesa.

AULA

48

Fresando engrenagens cilíndricas com dentes retos

Na aula passada você viu como furar na fresadora, utilizando a mesa divisora. Nesta aula você vai aprender a fresar engrenagens, utilizando o aparelho divisor universal e fazendo a divisão indireta.

A operação de fresar engrenagens é uma das mais importantes que o fresador executa. Ela pode ser realizada em máquinas fresadoras, no caso de uma só engrenagem. Ou em máquinas especiais, quando se trata de produção em série, como veremos mais tarde na aula reservada para isso.

Você provavelmente sabe o que é engrenagem. É um conjunto de pelo menos duas rodas dentadas em que uma transmite movimento à outra. Mas no dia-a-dia da oficina, costuma-se chamar engrenagem à própria roda dentada.

A engrenagem tem várias aplicações. Assim você vai encontrar engrenagens em uma máquina de moer cana ou no câmbio de um automóvel. Além de, naturalmente, encontrar engrenagens no sistema de transmissão de movimento das máquinas, de um modo em geral.

Estude bem, faça os exercícios e, quando necessário, não hesite em rever conceitos dados em aulas anteriores.

Como fresar engrenagens cilíndricas com dentes retos

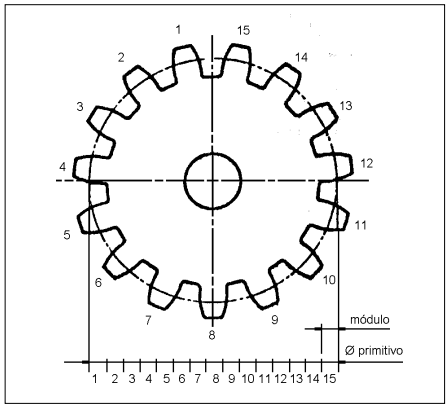
Nossa aula

Já dissemos que as engrenagens podem ser produzidas em máquinas especiais além das fresadoras. Nas fresadoras, os dentes das engrenagens são usinados com fresas de perfil constante também chamadas de fresas módulo.

O conceito de módulo já foi introduzido em **Cálculo Técnico**. Nesta aula você vai aprender como fazer os cálculos para selecionar corretamente a fresa módulo e poder assim usinar as engrenagens. Mas primeiro vamos retomar o conceito de módulo.

Recordar é aprender

Módulo de uma engrenagem é o quociente resultante da divisão do diâmetro primitivo pelo número de dentes. O módulo é sempre expresso em milímetros. Com o módulo, você pode calcular quase todas as dimensões de uma engrenagem. O módulo é normalizado e expresso com números inteiros ou decimais muito simples. Veja abaixo a figura de um módulo.



Percebeu o que é o módulo? Cada parte do diâmetro primitivo, não é mesmo? Isso nos leva a deduzir que se o módulo é expresso em uma medida inteira ou decimal muito simples, também serão expressas por números inteiros e decimais muito simples a medida do diâmetro primitivo e outras dimensões múltiplas do módulo.

Você relembrou o conceito de módulo, podemos então calcular os elementos necessários à construção de um par de engrenagens.

Vamos supor que você recebe a tarefa de fazer um par de engrenagens. Você sabe que o número de dentes da engrenagem 1 (Z_1) é igual a 25, o da engrenagem 2 (Z_2) igual a 80 e o módulo igual a 3. Por onde começar?

Primeiro, você deve conferir se as dimensões da peça (o blanque) que recebeu estão corretas. Para isso, você calcula os diâmetros primitivo e externo das engrenagens bem como o comprimento dos dentes.

Cálculo do diâmetro primitivo das engrenagens

$$m = \frac{dp}{z} \quad \therefore dp = m \times Z$$

Calculando vem:

para a engrenagem 1

$dp_1 = m \times Z_1$

$dp_1 = 3 \times 25$

$dp_1 = 75$ mm

para a engrenagem 2

$dp_2 = m \times Z_2$

$dp_2 = 3 \times 80$

$dp_2 = 240$ mm

Assim, tem-se que o diâmetro primitivo da engrenagem 1 é igual a 75 mm e o da engrenagem 2 igual a 240 mm.

Feito isso, você pode calcular o diâmetro externo (de) das engrenagens.

Cálculo do diâmetro externo das engrenagens

$$de = dp + 2\,m$$

para a engrenagem 1
$de_1 = 75 + 2 \times 3 \therefore de_1 = 75 + 6 \therefore de_1 = 81$ mm

para a engrenagem 2
$de_2 = 240 + 2 \times 3 \therefore de_2 = 240 + 6 \therefore de_2 = 246$ mm

Assim, o diâmetro externo da engrenagem 1 é igual a 81 mm e o da engrenagem 2 igual a 246 mm. Essas devem ser também as medidas do diâmetro externo dos blanques.

Após isso, é preciso calcular o comprimento dos dentes (b) das engrenagens.

Dica tecnológica
Segundo a ABNT, a medida do comprimento dos dentes oscila de 6 a 10 × m. É usual trabalhar com a média: 8 m.

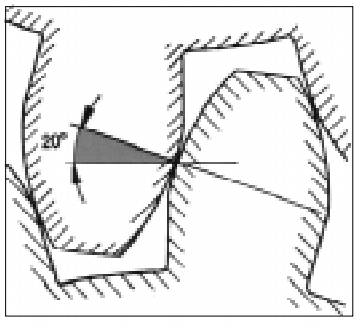
Cálculo do comprimento dos dentes

Tanto para a engrenagem 1 quanto para a engrenagem 2, tem-se que:

$b = 8 \times m$
$b = 8 \times 3$
$b = 24$ mm

Com os valores encontrados, você pode conferir o diâmetro externo e a largura dos blanques. Esta deve ser igual à medida do comprimento dos dentes. E em seguida calcular a altura dos dentes, a fim de determinar quanto você deverá aprofundar com a fresa no blanque para construir a engrenagem.

Para isso, você precisa conhecer o ângulo de pressão **(Elementos de Máquina e Cálculo Técnico)**. Veja figura abaixo.



Recordar é aprender
O ângulo de pressão (α) pode ter 15 ou 20°, conforme o perfil da fresa que for utilizada. O mais utilizado é o de 20°.

AULA

48

Cálculo da altura do dente

Antes de calcular a altura do dente, é preciso saber que ela é normalizada como segue:

DIN/ABNT	ASA (USA)	ISO (UNE 10.016)
$2{,}166 \times m$	$2{,}157 \times m$	$2{,}25 \times m$

Vamos supor que para executar sua tarefa, você vai usar a norma DIN/ABNT e $\alpha = 20°$. Qual deve ser então o valor de h?

Você tem que:

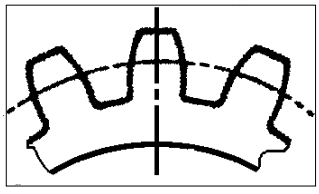
$$h = 2{,}166 \times m$$

Substituindo vem:

$h = 2{,}166 \times 3$

$h = 6{,}498$ mm

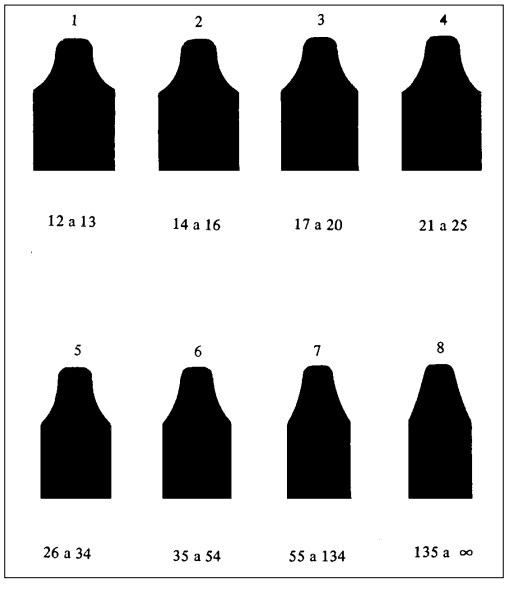
Assim, a altura do dente é de 6,498 mm. Isso significa que a fresa deve penetrar no blanque nesta profundidade. Veja a figura abaixo.



Feitos todos os cálculos, só resta escolher a fresa.

Escolha da fresa

As fresas para usinar engrenagens são as fresas módulo. Elas são fornecidas em um jogo de oito para cada módulo até o módulo 10. A partir deste módulo, as fresas módulo são fornecidas em um jogo de 15, porque os perfis dos dentes têm maior dimensão.



Dica tecnológica

Acima do módulo 4, recomenda-se que a engrenagem seja desbastada com uma fresa apropriada. E em seguida, para o acabamento, pode-se retomar a fresa de trabalho original.

A escolha da fresa está condicionada ao número de dentes das engrenagens.

Nº DA FRESA MÓDULO	Nº DE DENTES DA ENGRENAGEM (Z)
1	12 e 13
2	14 a 16
3	17 a 20
4	21 a 25
5	26 a 34
6	35 a 54
7	55 a 134
8	135 para cima e cremalheira

Já para usinar engrenagens acima do módulo 10, o jogo de 15 fresas é fornecido como segue:

Nº DA FRESA	1	$1^{1/2}$	2	$2^{1/2}$	3	$3^{1/2}$	4	$4^{1/2}$	5	$5^{1/2}$	6	$6^{1/2}$	7	$7^{1/2}$	8
Nº DE DENTES (Z)	12	13	14	15 e 16	17 e 18	19 e 20	21 e 22	23 e 25	26 e 29	30 e 34	35 e 41	42 e 54	55 e 79	80 e 134	135 para cima

Com esses dados, você já pode escolher a fresa para executar sua tarefa. Assim, para a engrenagem 1, em que $Z_1 = 25$, a fresa deve ser a número 4. Já para a engrenagem 2, em que $Z_2 = 80$, a fresa deve ser a número 7.

Usinando dentes retos para engrenagens cílíndricas

Você vai aprender a usinar dentes retos, utilizando a mesma tarefa do início da aula. Nela pede-se que você faça um par de engrenagens, sendo que a engrenagem 1 deve ter 25 dentes e a engrenagem 2 ter 80 dentes. Você tem ainda as seguintes medidas:

engrenagem 1	*engrenagem 2*
Z = 25	Z = 80
dp = 75 mm	dp = 240 mm
de = 81 mm	de = 246 mm
b = 24 mm	b = 24 mm
α = 20°	α = 20°
h = 6,498 mm	h = 6,498 mm

Fresando a engrenagem 1

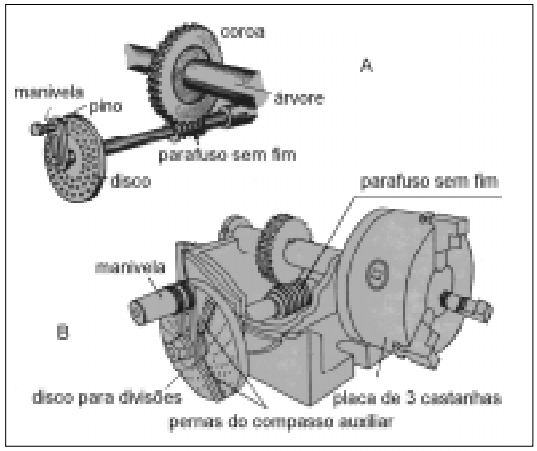
Monte e prepare o cabeçote divisor. Para isso você precisa calcular o número de furos que o disco deve ter. Este cálculo, como dissemos no início da aula, deve ser o da divisão indireta. Vamos ver como fazer?

Cálculo da divisão indireta

A divisão indireta é mais utilizada que a divisão direta, pois permite maior número de divisões. O nome divisão indireta provém do sistema de transmissão de movimento do manípulo para a árvore. Veja a figura a seguir.

AULA

48



Para fazer uma divisão indireta simples, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

em que:
RD = relação do divisor
Z = número de divisões a efetuar

Dica tecnológica

A relação do divisor é de 40/1, 60/1, 80/1 e 120/1, sendo a mais utilizada a de 40/1.

Vamos supor que o cabeçote da máquina com a qual você está trabalhando tenha uma relação de divisão de 40/1. Agora é só efetuar o cálculo.

Então para uma engrenagem de 25 dentes e uma relação de divisor de 40/1, tem-se que:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

Substituindo vem:

$$n = \frac{40}{25} \text{ ou } \begin{array}{r} 40 \;\big|\; 25 \\ 15 \quad\;\; 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{discos} \\ \text{volta} \end{array}$$

furos — 15

Com o resultado obtido, tem-se que é preciso dar uma volta e mais 15 furos em um disco de 25 furos. Como não existe um disco de 25 furos, é necessário montar uma fração equivalente a 15/25. Veja abaixo:

$$\frac{15}{25} \# \frac{5}{5} = \frac{3}{5}$$

A fração obtida leva a outra fração equivalente. Isto vai permitir escolher um disco com número de furos normalizados. Veja:

$$\frac{3}{5} \times \frac{3}{3} = \frac{9}{15}$$

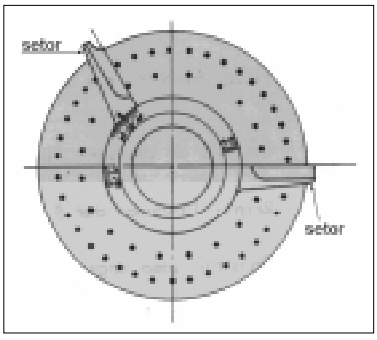
O resultado encontrado foi 9/15. Isto significa que você deve utilizar um disco com 15 furos e nele deslocar 9 furos.

Dica tecnológica

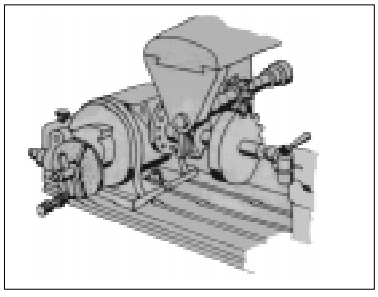
Você pode também utilizar um disco de 20 furos e deslocar 12.

Resumindo, para cada dente fresado, você deve girar uma volta completa e mais 9 furos no manípulo do aparelho divisor.

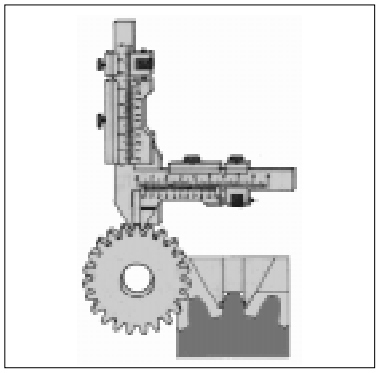
Vamos à usinagem:



- Fixe a peça em um mandril e este no aparelho divisor.
- Fixe o disco no aparelho divisor e regule o setor para 9 furos. Veja a figura ao lado.
- Fixe a fresa. Esta deve ser para módulo 3, nº 4, uma vez que a engrenagem deve ter 25 dentes.
  Observação: Sabemos que a fresa a utilizar deve ser a módulo 3, nº 4, pela tabela normalizada de fresas.
- Faça a primeira ranhura. Para isso, posicione a fresa no centro do eixo e tangencie a peça.
- Retire a fresa de cima da peça e suba a mesa até a profundidade de corte desejada.
- Inicie o corte manualmente e em seguida complete o passe com o movimento automático.
  Observação: Dê quantos passes forem necessários para obter a altura do dente que é h = 6,498 mm.



- Gire a peça para fresar a ranhura seguinte. Para isso, desloque novamente o manípulo do aparelho divisor em uma volta mais 9 furos. Faça a ranhura. Após isso, estará pronto o primeiro dente.
- Meça o dente usinado. Veja a figura.



- Proceda da mesma maneira para fazer as demais ranhuras e dentes.

AULA

48

Fresando a engrenagem 2

Para fresar a engrenagem 2, você deve seguir os mesmos passos que para fresar a engrenagem 1. Mas com algumas diferenças. Como agora a engrenagem a usinar deve ter 80 dentes, vai ser necessário escolher um outro disco para o aparelho divisor assim como uma outra fresa.

Escolher a fresa é simples. Basta consultar a tabela. Sabendo que m = 3 e Z = 80, a fresa deve ser a módulo 3, nº 4.

Quanto ao disco é necessário fazer o cálculo de divisão indireta.Vamos fazê-lo?

Vamos tomar a fórmula:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

Substituindo vem:

$$n = \frac{40}{80}$$

Simplificando vem:

$$n = \frac{1}{2}$$

Com o resultado obtido, isto é, 1/2, sabe-se que é preciso dar meia-volta em qualquer disco de número par de divisões.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Que fresa deve ser utilizada para fresar uma engrenagem com 120 dentes e módulo 4? (Utilize a tabela.)

Exercício 2

Sabendo que a engrenagem a fresar tem 120 dentes e a relação do aparelho divisor é de 40/1, responda:

a) Quantos furos deve ter o disco divisor?

b) Quantas voltas e quantos furos devem ser avançados?

AULA

49

Fresando engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais

Na aula passada você viu como fresar engrenagens cilíndricas de dentes retos, utilizando o aparelho divisor universal e divisão indireta. Nesta aula você vai aprender a fresar engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais, utilizando uma grade de engrenagens.

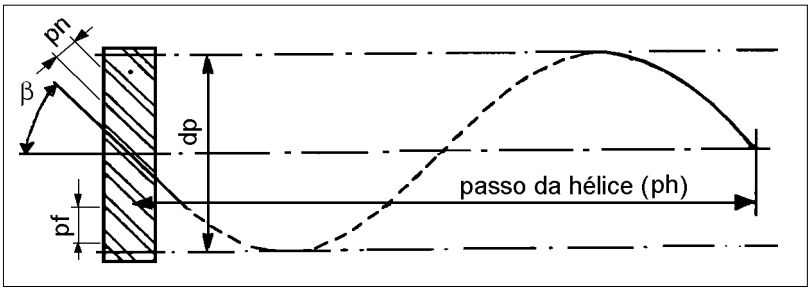
Para fresar engrenagens de dentes helicoidais, você vai utilizar outros conceitos como passo normal (pn), passo frontal (pf), passo da hélice (ph), passo constante da fresadora e número de dentes imaginários (Zi).

Estude bem! E não esqueça de recorrer a aulas passadas, caso necessário.

Como fresar engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais

Nossa aula

Para fresar engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais, é preciso conhecer o ângulo de inclinação (β). Este apresenta os seguintes passos: passo normal, frontal e o passo da hélice (ph). Veja figura.



O passo da hélice é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$ph = \frac{dp \cdot \pi}{tg\beta}$$

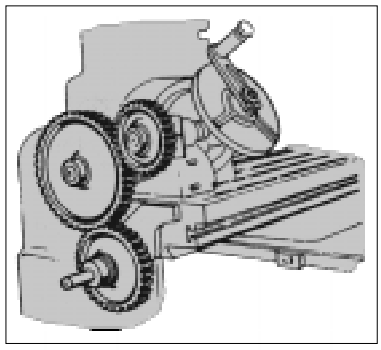
Também é preciso conhecer o passo constante da fresadora bem como a grade de engrenagens.

O *passo constante da fresadora* (pc) é dado pelo valor da relação de transmissão do aparelho divisor vezes o valor do passo do fuso da mesa (pF), ou seja,

$pc = RD \cdot pF$.

Com o passo constante da fresadora calcula-se a grade de engrenagens.

Grade de engrenagens é um conjunto de engrenagens que transmite movimento sincronizado entre o fuso da mesa e o aparelho divisor universal. Veja figura a seguir.



O número de dentes das engrenagens que compõem a grade é determinado por meio da seguinte relação:

$$\frac{\text{passo constante da fresadora}}{\text{passo da hélice da engrenagem}} = \frac{\text{engrenagens motrizes}}{\text{engrenagens conduzidas}}$$

Também é importante a escolha da fresa módulo. Esta pode ser feita utilizando-se o número de dentes normal e o ângulo β ou calculando-se o número de dentes imaginário da fresa. O cálculo do número de dentes imaginário (Zi) é feito por meio da seguinte fórmula:

$$Zi = \frac{Z}{\cos^3 \beta}$$

Com o resultado desta equação, consulta-se a tabela normalizada de fresas módulo e obtém-se o número da fresa.

Com essas informações, podemos passar à usinagem.

Vamos supor que você recebe a tarefa de fazer uma engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais, em que:

$Z = 50$
$\beta = 22^\circ$
$mn = 3$
passo do fuso = 5 mm

$$RD = \frac{40}{1}$$

coleção de engrenagens: 25, 30, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100 e 127.

Como fazer? Primeiramente, você deve calcular o módulo frontal da engrenagem.

Cálculo do módulo frontal da engrenagem

$$mf = \frac{m}{\cos\beta}$$

$$mf = \frac{3}{0,92718}$$

$$mf = 3,236$$

Então, o módulo frontal da engrenagem é igual a 3,236 mm. Em seguida, você calcula o diâmetro primitivo.

Cálculo do diâmetro primitivo da engrenagem

$$mf = \frac{dp}{Z} \therefore dp = mf \times Z$$

Calculando vem:

$dp_1 = mf \times Z_1$
$dp_1 = 3,236 \times 50$
$dp_1 = 161,8$ mm

Assim, tem-se que o diâmetro primitivo da engrenagem é igual a 161,8 mm. Feito isso, você pode calcular o diâmetro externo (de) da engrenagem.

Cálculo do diâmetro externo da engrenagem

$$de = dp + 2m$$

$de = 161,8 + 2 \times 3$
$de = 161,8 + 6$
$de = 167,8$ mm

O diâmetro externo da engrenagem é igual a 167,8 mm. Essa deve ser também a medida do diâmetro externo do blanque.

Após isso, pode-se calcular a espessura (b) da engrenagem e a altura do dente. Para a espessura, aplica-se a mesma fórmula utilizada para o cálculo do comprimento de dentes retos, isto é: $b = 8 \times 3$. Também é uma velha conhecida sua a fórmula para o cálculo da altura do dente, ou seja:

$$h = 2,166 \times 3 \therefore h = 6,498 \text{ mm}$$

Agora, já é possível escolher a fresa. Para isso, vamos utilizar o cálculo do número de dentes imaginário (Zi).

AULA
49

Cálculo do número imaginário de dentes

$$Zi = \frac{Z}{\cos^3 \beta}$$

$$Zi = \frac{50}{0{,}797}$$

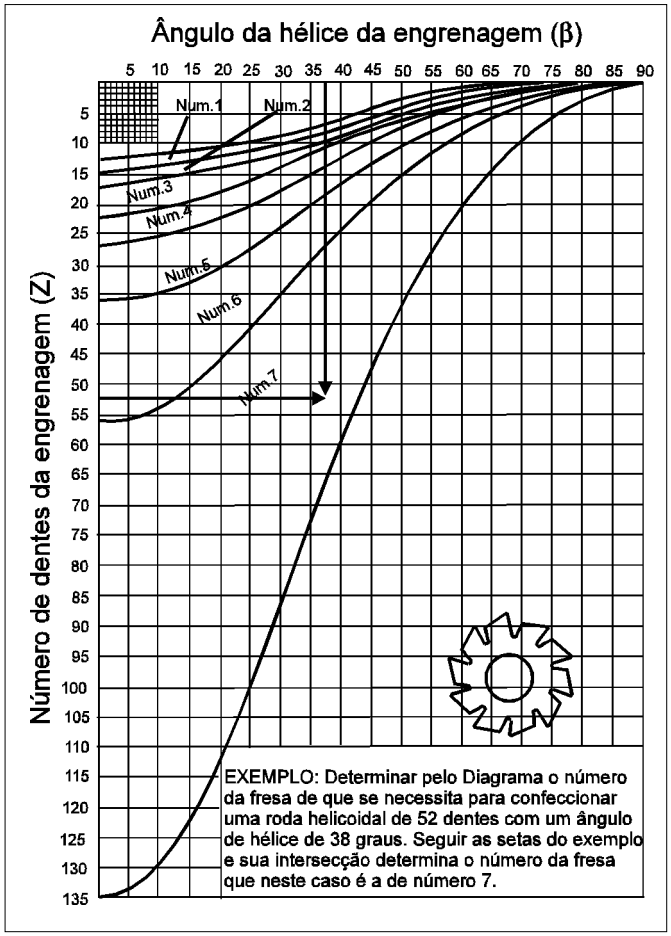
$$Zi = 62$$

Conhecendo o valor de Zi, você pode escolher a fresa módulo, de acordo com a tabela.

Recordar é aprender

Nº DA FRESA MÓDULO	Nº DE DENTES DA ENGRENAGEM (Z)
1	12 e 13
2	14 a 16
3	17 a 20
4	21 a 25
5	26 a 34
6	35 a 54
7	55 a 134
8	135 para cima e cremalheira

Assim de acordo com a tabela, a fresa módulo deve ser a de número 7.



Você acabou de escolher a fresa módulo, calculando o número de dentes imaginário. Mas, como dissemos, você também pode escolher a fresa, utilizando o número normal de dentes (Z) e o ângulo β.

Neste caso, o número da fresa é dado por um diagrama. Veja ao lado.

Como mostra o diagrama, para β = 22º e Z = 50 a fresa módulo é a de número 7, ou seja, a mesma encontrada por meio do cálculo de número imaginário de dentes.

Dica tecnológica

Caso a engrenagem fosse de dentes retos, a fresa seria a de nº 6. Para uma engrenagem de dentes helicoidais, o número da fresa deve ser maior, porque o diâmetro primitivo frontal deste tipo de engrenagem é maior que o seu diâmetro primitivo normal.

Você já tem os valores para usinar a engrenagem e já escolheu a fresa; é hora de determinar as engrenagens que vão compor a grade.

Você sabe que o passo do fuso da mesa da fresadora é igual a 5 mm e que a relação do divisor é de 40/1. Com isso, você pode determinar o passo constante da fresadora, multiplicando o passo do fuso pela relação do divisor. Veja:

$$pc = 40 \times 5$$
$$pc = 200 \text{ mm}$$

Feito isso, você calcula o passo da hélice da engrenagem. Veja:

$$ph = \frac{dp \cdot \pi}{tg\beta}$$

$$ph = \frac{161{,}8 \times 3{,}1416}{0{,}404}$$
$$ph = 1258{,}3$$

O resultado é que o passo da hélice é igual a 1258,3 mm. Tendo os valores de pc e de ph, você pode determinar as engrenagens da grade.

Cálculo da grade das engrenagens

Substituindo na fórmula, vem: $\frac{200}{1260}$

Observação: O denominador acima foi arredondado para tornar possível a simplificação da fração. Trata-se de um erro aceitável, visto que o passo da hélice é igual a quase 1300 mm.

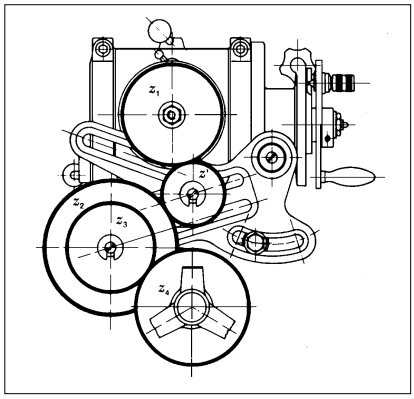
Simplificando a fração, vem: $\frac{10}{63}$

Ou seja, devíamos ter uma engrenagem com 10 dentes e outra com 63 dentes. Como a coleção disponível de engenagens não contempla esses números de dentes (página 76), é necessário encontrar frações equivalentes aos números de dentes disponíveis na coleção.

Assim: $\frac{10}{63} = \frac{1 \times 10}{7 \times 9} = \frac{10 \times 10}{7 \times 90} = \frac{100}{630} = \frac{4 \times 25}{7 \times 90} = \frac{40 \times 25}{70 \times 90} = \frac{\text{motrizes}}{\text{conduzidas}}$

Com a fração $\frac{40 \times 25}{70 \times 90}$,

monta-se a grade com engrenagens de 40, 25, 70 e 90 dentes, para usinar a engrenagem cilíndrica helicoidal, em que ph = 1260 mm e pc = 200 mm. Veja ao lado.



O último passo antes de montar a fresadora para usinar a engrenagem é determinar o número de voltas que devem ser dadas no manípulo em relação ao disco divisor.

Assim:

$$n = \frac{RD}{Z} = \frac{40}{50} = \frac{4}{5} = \frac{4 \times 4}{5 \times 4} = \frac{16}{20}$$

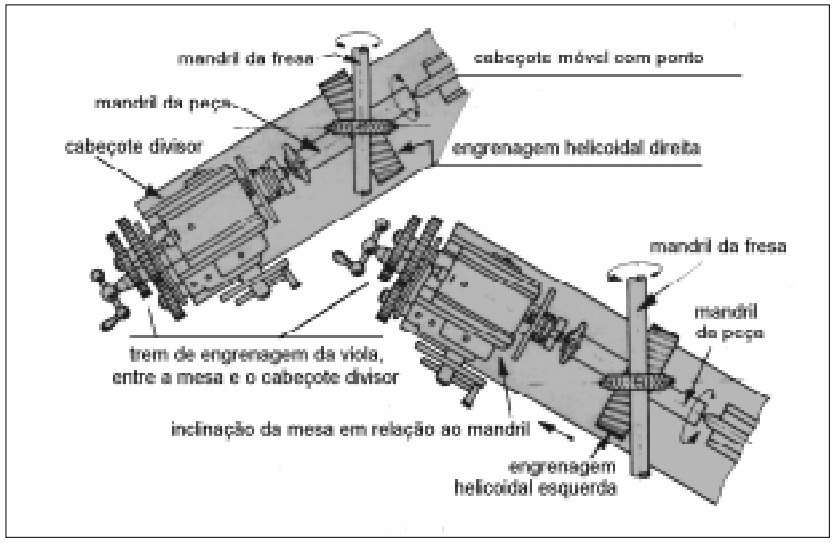
O resultado é $\frac{16}{20}$.

Isso significa que para cada dente a usinar, você deve regular o setor do disco do divisor em 16 furos em um disco de 20 furos.

Usinando dentes helicoidais para engrenagens cílíndricas

Vamos retomar o problema dado e acrescentar os valores calculados. Assim:
dp = 161,8
de = 167,8
h = 6,498
b = 24
ph = 1 258,3
pc = 200
grade de engrenagens: *motrizes* = 40 e 25
conduzidas = 70 e 90
disco de 20 furos

- Monte e prepare o aparelho divisor.
- Fixe a peça em um mandril e este no aparelho divisor.
- Fixe o disco no aparelho divisor e regule o setor para 16 furos.
- Calcule o número de dentes das engrenagens que vão compor a grade de engrenagens. Como já vimos, estes valores são: 40, 25, 70 e 90.
- Monte a grade, conforme a figura da página 79.
- Fixe a fresa. Esta será módulo 3, nº 7, uma vez que a engrenagem é de 50 dentes.
- Incline a peça em relação à fresa em 22°, conforme figura abaixo. A inclinação da peça pode ser tanto à direita quanto à esquerda, a depender do sentido dos dentes que se quer obter.



- Faça a primeira ranhura. Antes, posicione a fresa no centro do eixo e tangencie a peça.
- Retire a fresa de cima da peça e suba a mesa até a profundidade de corte desejada.
- Inicie o corte manualmente. Em seguida, complete o passe com o movimento automático. Dê tantas passadas quanto necessário para atingir h= 6,498 mm.
- Gire o material para fresar a ranhura seguinte. Para isso, desloque novamente o manípulo do aparelho divisor em 16 furos. Faça a ranhura. Depois, estará pronto o primeiro dente.
- Meça o dente usinado.
- Proceda da mesma maneira para fazer as demais ranhuras e dentes.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Para uma engrenagem helicoidal de 60 dentes, módulo 4 e $\beta = 45^{o}$, determine:

mf
dp
de
h
b
Zi
nº da fresa
ph

Exercício 2

Supondo uma relação de transmissão do divisor $\frac{60}{1}$, e passo do fuso da mesa igual a 6 mm, determine o passo constante da fresadora.

Exercício 3

Determine o passo da hélice (ph) de uma engrenagem helicoidal com 120 mm de diâmetro primitivo (dp) e $\beta = 24^{\circ}$.

Exercício 4

Calcule a grade de engrenagens necessária para usinar uma engrenagem em que:

ph = 400 mm

$RD = \frac{40}{1}$

passo de fuso da fresadora = 5 mm

(Utilize coleção de engrenagens da página 76.)

Exercício 5

Qual a fresa indicada para usinar uma engrenagem de 85 dentes e $\beta = 50^{o}$.

(Consulte o diagrama à página 78.)

AULA

50

Fresando engrenagens cônicas com dentes retos

Na aula passada, você aprendeu a fresar engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais, utilizando a grade de engrenagens. Nesta aula você vai aprender a fresar engrenagens cônicas com dentes retos. Trata-se de engrenagens usadas para transmitir movimento de rotação entre dois eixos concorrentes, isto é, que se cruzam. Um exemplo disso é a furadeira manual, que você deve conhecer.

Como você deve estar lembrado (**Elementos de Máquina**), há engrenagens cilíndricas com dentes cônicos retos e helicoidais. Mas nesta aula vamos abordar especificamente as engrenagens com dentes cônicos retos com eixos inclinados a 90º.

Estude com bastante atenção os conceitos novos. E se for preciso, reveja aulas passadas para relembrar conceitos já aprendidos.

Nossa aula

Como fresar engrenagens cônicas com dentes retos

Para fresar engrenagens cônicas com dentes retos, você vai precisar calcular alguns elementos novos, como módulo mínimo (m), comprimento da geratriz do dente (G), ângulo de inclinação (σ) do cabeçote do aparelho divisor.

Vamos tomar um exemplo. Suponha que você recebe a tarefa de fazer uma engrenagem cônica com dentes retos, a qual deve ser montada em um eixo em um ângulo de 90° em relação a outro eixo.

Os dados de que você dispõe são os seguintes:

$Z_1 = 30$

$Z_2 = 64$

$m = 3$

Por onde começar? Primeiro, você deve calcular o diâmetro primitivo da engrenagem 1. Ou seja: $dp_1 = M \cdot Z$

Resolvendo a fórmula, o resultado é: $dp_1 = 90$ mm.

Feito isso, é preciso determinar o diâmetro primitivo da engrenagem 2. Isto é:

$dp_2 = M \cdot Z$. O resultado encontrado deve ser: $dp_2 = 192$ mm.

Com estes valores, você pode calcular o ângulo primitivo (δ) da engrenagem 1.

Cálculo do ângulo primitivo

Este cálculo é feito por meio da fórmula:

$$t_g\delta_1 = \frac{dp_1}{dp_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

em que:

$t_g\delta_1$ = tangente do ângulo primitivo da engrenagem 1
dp_1 = diâmetro primitivo da engrenagem 1
dp_2 = diâmetro primitivo da engrenagem 2

Resolvendo para a engrenagem 1, vem:

$$tgd_1 = \frac{90}{192}$$

$$tgd_1 = 0{,}46875$$

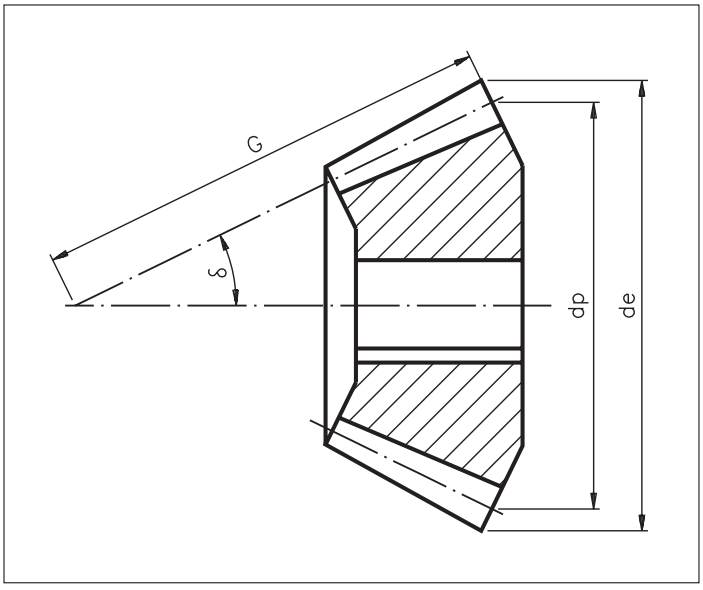
Este é o valor da tangente para a **engrenagem 1**. Com esse valor, você consulta uma tabela normalizada de tangentes. O resultado deve ser: $\delta_1 = 25°6'53''$.

Para a **engrenagem 2**, a fórmula para calcular o ângulo primitivo é:

$$t_g\delta_2 = \frac{dp_2}{dp_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Guarde a informação. Você vai precisar dela no final da aula para resolver os exercícios.

Agora, é preciso calcular a geratriz. Veja a figura abaixo.



AULA
50

Cálculo da geratriz

O cálculo da geratriz é feito por meio da fórmula:

$$\text{sen}\delta = \frac{dp_1}{\frac{2}{G}}$$

em que:

senδ = seno do ângulo primitivo
dp_1 = diâmetro primitivo da engrenagem 1
G = geratriz

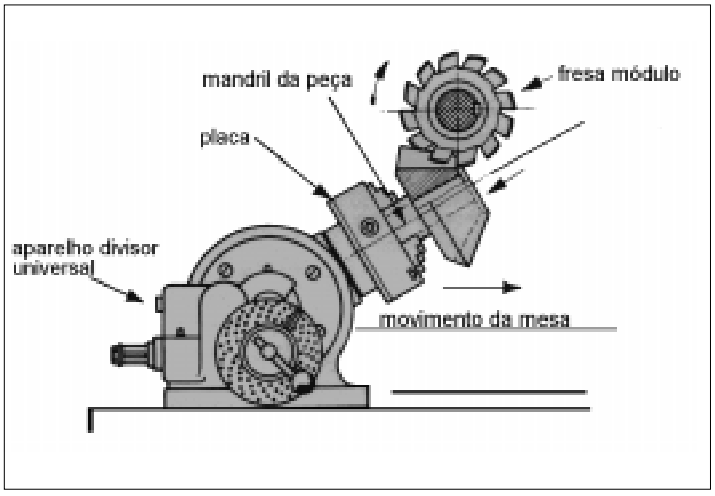
Resolvendo vem:

$$G = \frac{dp_1}{2 \cdot \text{sen}\,\delta}$$

$$G = \frac{90}{2 \cdot 0{,}4244}$$

G = 106,03204 mm

Após isso, você deve determinar o ângulo do fundo do dente (σ), cujo valor você vai precisar para dar a inclinação desejada do cabeçote do aparelho divisor em relação à mesa da fresadora. Veja figura.



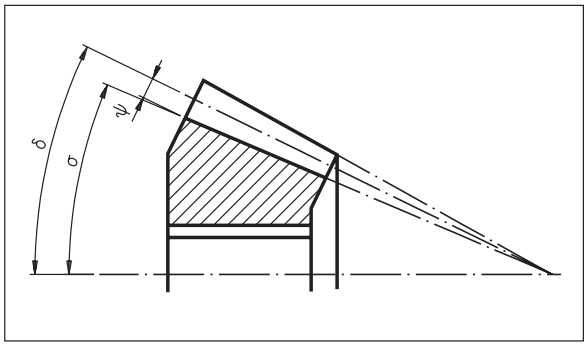
Cálculo do ângulo do fundo do dente

Para fazer este cálculo, você precisa antes determinar o ângulo do pé do dente (ψ). Isto é feito por meio da fórmula:

$$\text{tg}\psi = \frac{1{,}166 \cdot M}{G}$$

em que:

$tg\psi$ = tangente do ângulo do pé do dente
M = módulo normal
G = geratriz



Resolvendo a fórmula vem:

$$tg\psi = \frac{3{,}498}{106{,}03204}$$

$$tg\psi = 0{,}03299$$

Com o valor desta tangente, e consultando a mesma tabela normalizada de tangentes, você vai encontrar que: $\psi = 1^{o}\ 53'\ 22''$.

Com este valor de ψ, você pode determinar o ângulo do fundo de dente (σ). Para isso, basta aplicar a fórmula:

$$\sigma = \delta - \psi$$

em que:

σ = ângulo do fundo do dente
δ = ângulo primitivo
ψ = ângulo do pé do dente

Resolvendo vem:

$\sigma = 25^{o}6'53'' - 1^{o}53'22''$
$\sigma = 23^{o}13'31''$

Feito isso, determine o ângulo externo da engrenagem (ψ). Para isso você necessita calcular o ângulo da cabeça do dente.

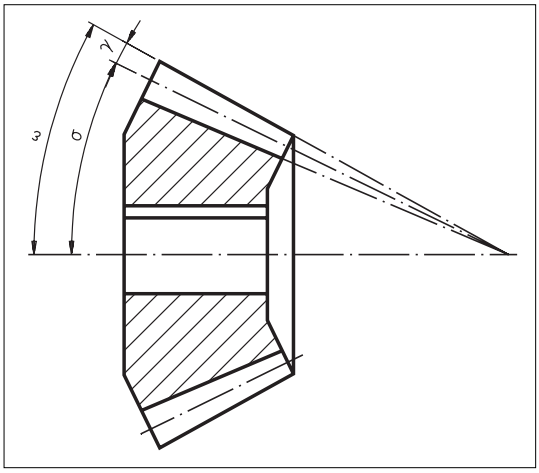
Cálculo do ângulo da cabeça do dente

Para calcular o ângulo da cabeça do dente, você utiliza a seguinte fórmula:

$$t_g\gamma = \frac{M}{G}$$

em que:

$t_g\gamma$ = tangente do ângulo da cabeça do dente
M = módulo
G = geratriz



Resolvendo vem:

$$t_g\gamma = \frac{3}{106{,}02358}$$

$$t_g\gamma = 0{,}0282955$$

$$\gamma = 1^\circ 37' 14''$$

Agora, você já pode calcular o ângulo externo da engrenagem.

Cálculo do ângulo externo da engrenagem

Este cálculo é feito por meio da fórmula:

$$\omega = \delta + \gamma$$

em que:

ω = ângulo externo
δ = ângulo primitivo
γ = ângulo da cabeça do dente

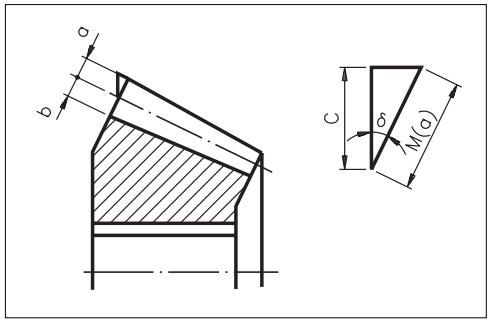
Resolvendo vem:
$\omega = 25^\circ 6' 53'' + 1^\circ 37' 14''$
$\omega = 26^\circ 44' 7''$

Tendo este valor, você calcula a altura da cabeça do dente e, em seguida, o diâmetro externo da engrenagem.

Cálculo da altura da cabeça do dente

Este cálculo é feito com a seguinte fórmula:

$$\cos\delta = \frac{C}{M}$$



em que:
$\cos\delta$ = co-seno do ângulo primitivo
C = cateto adjacente ao ângulo δ
M = módulo

Resolvendo vem:

$$\cos\delta = \frac{C}{M}$$

$$C = M \cdot \cos\delta$$

$$C = 3 \cdot 0{,}9054597$$

$$C = 2{,}7163793$$

Agora, para achar o diâmetro externo do blanque é só aplicar a fórmula:

$$de = dp_1 + 2 \cdot C$$

em que:

de = diâmetro externo da engrenagem
dp = diâmetro primitivo

Resolvendo vem:

de = 90 + 2 · 2,7163793
de = 95,432759

Agora, você pode calcular o módulo mínimo que vai lhe permitir escolher a fresa para fazer o dente.

Cálculo do módulo mínimo

Para fazer este cálculo, você utiliza a fórmula:

$$m = \frac{2}{3} M$$

em que:
m = módulo mínimo
M = módulo normal

Resolvendo vem:

$$m = \frac{2}{3} M$$

m = 2

Dica tecnológica

O comprimento do dente deve corresponder no máximo a um terço da geratriz.

Resta agora escolher a fresa. Esta escolha deve ser feita por meio do cálculo do número de dentes equivalente.

Cálculo do número de dentes equivalente (Z_{equiv})

Para calcular o número de dentes equivalente, você utiliza a seguinte fórmula:

$$Z_{equiv} = \frac{Z}{\cos\delta}$$

em que:

Z_{equiv} = número de dentes equivalente
Z = número de dentes da engrenagem
cosδ = co-seno do ângulo primitivo

Substituindo vem:

$$Z_{equiv} = \frac{30}{0{,}9054589}$$

$$Z_{equiv} = 33$$

Observação: Se as engrenagens fossem de dentes retos, os números da fresa seriam *5* para Z_1 e *7* para Z_2. Como as engrenagens são cônicas com dentes retos, e devido ao uso do módulo mínimo, o número da fresa passa a ser 8 para Z_2. Para Z_1, entretanto, a alteração dá-se apenas no módulo.

Feitos todos os cálculos, você já pode começar a fresar.

Fresando engrenagem cônica com dentes retos

Vamos retomar a tarefa dada no início da aula. Como os cálculos já foram feitos, você pode preparar a fresadora para usinar os dentes da engrenagem. Assim:

- Fixe a peça a um mandril e ambos ao aparelho divisor universal.
- Escolha o disco para o aparelho divisor. Para isto faça o cálculo da divisão indireta, ou seja:

$$N = \frac{RD}{Z}$$

Resolvendo vem:

$$N = \frac{40}{30}$$

Simplificando vem:

$$1 + \frac{10}{30} = 1 + \frac{1}{3} = 1 + \frac{6}{18}$$

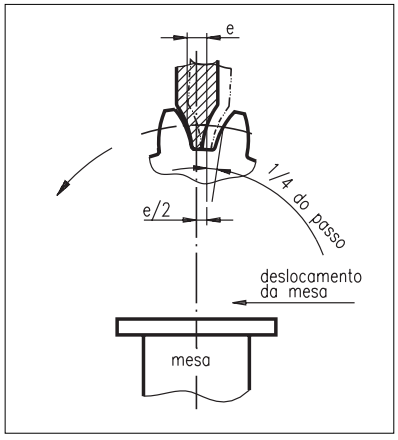
Com este resultado, você sabe que deve usar um disco de 18 furos e ajustar o setor do aparelho divisor em 6 furos.

- Incline o cabeçote do aparelho divisor em um ângulo σ. No nosso caso em 23° 13′ 31′′.
- Fixe a fresa. No nosso caso, a fresa é a de número 5, módulo 2.
- Posicione a fresa no centro da peça e faça o tangenciamento na parte mais alta do blanque.
- Zere o anel graduado do fuso de subida da mesa.

- Suba a mesa até a profundidade de corte. Ou seja: h = 2,166 × M.
- Faça a primeira ranhura.
- Corrija os dentes. A correção é necessária porque você está usando fresa com valor do módulo mínimo. Para a correção, proceda da seguinte maneira:

a) desloque a fresa no sentido transversal, no valor de $\frac{e}{2}$ (**e** é a espessura da fresa medida no seu diâmetro primitivo);

b) através do aparelho divisor, gire a peça em 3 furos no mesmo sentido em que foi deslocada a fresa para a correção de um dos lados do dente. Veja figura abaixo.



Observação: O valor 3 furos equivale a $\frac{1}{8}$ do passo da engrenagem. Observe como este valor foi obtido.

Para dar o passo da engrenagem, você deveria girar uma volta mais 6 furos em um disco de 18 furos. Ou seja: 6 + 18 = 24 furos. Portanto, o passo da engrenagem equivale a 24 furos.

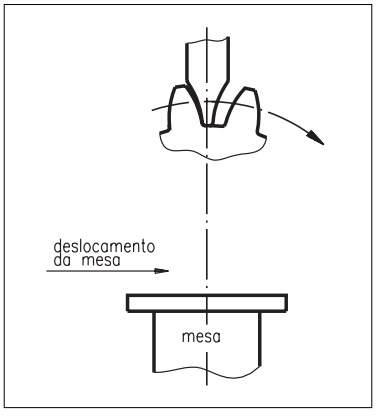
Mas, para corrigir o dente você precisa girar o disco em 1/8 deste valor.

Isto é: $\frac{24}{8} = 3$

Logo, você vai girar o disco de 18 em 3 furos.

c) feito o deslocamento da fresa e da peça, usine novamente o dente da engrenagem. Com isto, você terá corrigido um lado do dente.

- Usine as outras ranhuras. Para isso, gire o manípulo do cabeçote divisor em uma volta mais seis furos. Assim você obtém um lado de cada dente já corrigido.
- Desloque a fresa novamente no sentido inverso ao do primeiro deslocamento, só que agora em uma distância *e*.
- Gire a peça em 6 furos, também no sentido inverso ao primeiro.
- Usine a segunda face de cada dente.



Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Dado um par de engrenagens cônicas com dentes retos montado em eixos dispostos a 90º, onde $Z_1 = 35$, $Z_2 = 80$ e $M = 2$, determine:

dp_1	dp_2	δ_1	δ_2

Exercício 2

Calcule o comprimento dos dentes das engrenagens 1 e 2 acima em 1/3 da geratriz.

Exercício 3

Em que valor de σ deve ser inclinado o cabeçote do aparelho divisor, para que seja possível usinar os dentes das engrenagens 1 e 2, sendo que: $Z_1 = 35$, $Z_2 = 80$ e $M = 2$?

σ_1	σ_2

Exercício 4

Sendo M = 2, determine o módulo mínimo (m) necessário para a escolha da fresa módulo a fim de usinar o mesmo par de engrenagens dado acima.

Exercício 5

Calcule o Z_{equiv}. para as mesmas engrenagens:

$Z_{equiv\ 1}$	$Z_{equiv\ 2}$

Exercício 6

Com os valores de Z_{equiv1} e Z_{equiv2} encontrados, determine o nº das fresas para fresar o mesmo par de engrenagens.

de m = 0,3	até	m = 1,0 mm	de 0,1 mm em 0,1 mm
de m = 1,0	até	m = 4,0 mm	de 0,25 mm em 0,25 mm
de m = 4,0	até	m = 7,0 mm	de 0,5 mm em 0,5 mm
de m = 7,0	até	m = 16,0 mm	de 1,0 mm em 1,0 mm
de m = 16,0	até	m = 24,0 mm	de 2,0 mm em 2,0 mm
de m = 24,0	até	m = 45,0 mm	de 3,0 mm em 3,0 mm
de m = 45,0	até	m = 75,0 mm	de 5,0 mm em 5,0 mm

AULA

51

Fresando pelo processo Renânia

Até então você viu como fresar segundo processos convencionais. Agora você vai ver alguns processos especiais de fresagem e as máquinas e fresas que executam esses processos.

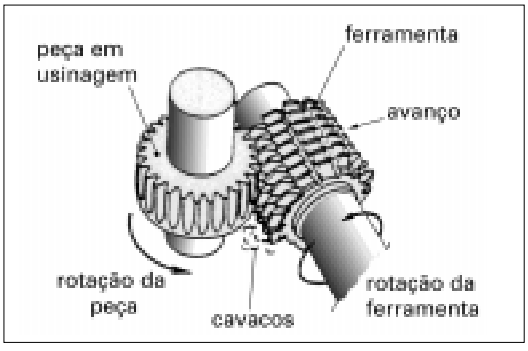
Nesta aula, você vai aprender sobre o processo Renânia. A característica principal do processo Renânia é o movimento sincronizado de giro entre a peça e a ferramenta, a fresa caracol. A vantagem do movimento sincronizado é que ele possibilita maior produção de peças bem como exatidão em suas medidas.

Como sempre, estude bem e faça os exercícios propostos. E, se precisar, recorra a aulas anteriores para rever conceitos já aprendidos.

O processo Renânia

Nossa aula

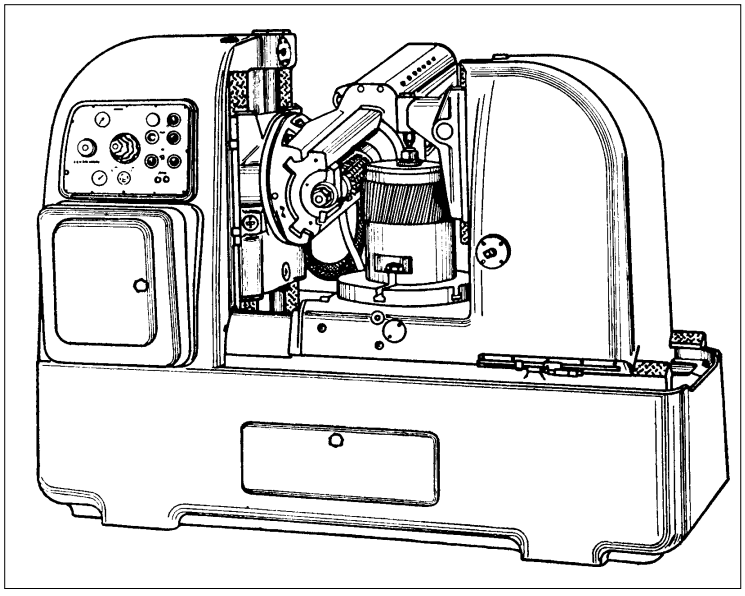
Você certamente já viu um par de engrenagens cilíndricas em funcionamento. Ou uma rosca sem-fim e uma coroa. Vamos supor que você substitua a coroa por um blanque de aço e a rosca sem-fim por uma ferramenta. Neste caso, a ferramenta teria geometria semelhante a rosca sem-fim. Porém, a hélice da rosca seria interrompida e apresentaria arestas de corte. Veja a figura.



Essa é a base de funcionamento de um sistema de geração de engrenagens conhecido como processo Renânia. Nesse processo, a fresa e o disco de aço onde são usinados os dentes da engrenagem apresentam movimento de rotação. Isso significa que é possível submeter, ao mesmo tempo, vários dentes ao processo de corte e assim reduzir o tempo, em relação aos processos convencionais, de fabricação da engrenagem .

A máquina empregada nesse processo é também chamada Renânia. Trata-se de uma máquina utilizada para a produção, em larga escala, de engrenagens cilíndricas com dentes retos ou helicoidais e coroas para parafusos sem-fim.

Basicamente, a máquina Renânia é formada por um cabeçote porta-fresa e uma mesa porta-peça. Veja figura abaixo.



Nesse tipo de máquina a mesa porta-peça está ligada a uma grade de engrenagens que funciona como um aparelho divisor.

Graças a isso, dá-se o sincronismo de movimento entre a mesa e o deslocamento da fresa, isto é, enquanto a mesa porta-peça realiza um movimento de giro, a fresa faz o movimento de corte.

Ainda, ao mesmo tempo em que ocorre o movimento entre a peça e a fresa, o cabeçote porta-ferramenta descreve um movimento vertical, de forma que quando a ferramenta deixa a peça, todos os dentes da engrenagem já terão sido usinados.

É a sincronização de movimento entre a fresa e a mesa que torna possível fresar maior número de dentes da engrenagem por vez, sem que para isso seja necessária a intervenção constante do operador, como ocorre nos sistemas de fresagem convencionais em que a fresadora fresa um só dente por vez. O resultado é que se consegue maior produção de peças, com maior rapidez e exatidão nas medidas das peças.

No processo Renânia, a ferramenta utilizada é a fresa caracol. A fresa caracol é cilíndrica e dispõe de uma hélice com ângulo de inclinação definido (β). A hélice pode ter sentido à esquerda ou à direita. Na hélice encontram-se ranhuras. São as ranhuras que geram os dentes de corte que se sucedem em toda a espiral. Veja a figura.

Quanto à escolha da fresa caracol, esta não é feita de acordo com o número de dentes da engrenagem, como ocorre com a fresa módulo.

Ao contrário, a escolha da fresa caracol é determinada basicamente pelo número do módulo da engrenagem e o ângulo de pressão (α). Estes são dados que aparecem no corpo da fresa, como aparecem também o ângulo de inclinação da hélice (β) e a altura do dente da engrenagem.

Assim, para utilizar a fresa caracol basta conhecer o módulo da fresa e o ângulo de pressão. O módulo, como você aprendeu em aulas passadas, é padronizado em tabelas normalizadas DIN.

Ainda, para usinar engrenagens cilíndricas com dentes retos, é preciso conhecer a inclinação da hélice da fresa caracol, para que se possa inclinar o cabeçote do eixo porta-fresa.

Já na usinagem de engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais, a inclinação do eixo porta-fresa deve ser acrescida ou decrescida do ângulo de inclinação da hélice da engrenagem. Para isso basta saber se a hélice da engrenagem e a hélice da fresa têm sentido à direita ou à esquerda.

Vamos ver como fresar com uma máquina Renânia?

Vamos supor que você recebe a tarefa de fazer uma engrenagem com dentes retos, utilizando o processo Renânia, em que:

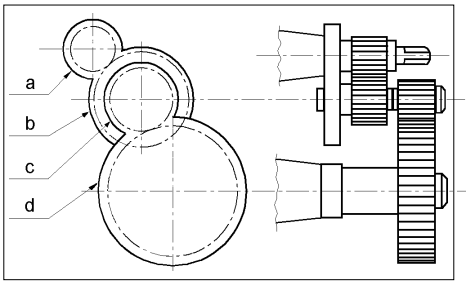
Z = 51
M = 2
α = 20°

Por onde começar?

- Selecione a fresa. Esta deve ser uma fresa caracol, módulo 2, com ângulo de pressão igual a 20°.
- Fixe a fresa.
- Incline o eixo porta-fresas em um ângulo igual ao de inclinação da hélice da fresa (o qual está registrado no corpo da fresa).
- Fixe a peça à mesa. Utilize um mandril apropriado ou uma placa universal. **Observação**: Se se tratar de uma peça de grandes proporções, fixe-a diretamente à mesa.
- Monte a grade divisora. Para isto consulte a tabela do fabricante que se encontra no catálogo da máquina. Veja abaixo esquema de montagem da grade divisora e detalhe da tabela.

Z	a	b	c	d
51	24	72	60	85

Z = número de dentes
b e c = engrenagens intermediárias
a = engrenagem motriz
d = engrenagem conduzida



Fique por dentro

A grade divisora exerce a função de um aparelho divisor. Assim, você pode montá-la também utilizando o recurso do cálculo. Este é feito com a seguinte fórmula:

$$\frac{12 \cdot G}{Z} = \frac{a}{b} \times \frac{a}{b}$$

em que:

12 = constante
a = engrenagem motriz
G = número de entradas da fresa caracol
b e c = engrenagens intermediárias
Z = número de dentes da engrenagem
d = engrenagem conduzida

Observação: As engrenagens *b* e *c* devem ser montadas em um mesmo eixo.

- Regule a rotação da fresa, de acordo com o material da ferramenta e da peça.
- Regule também o avanço de corte da ferramenta.
- Tangencie a peça e zere o anel graduado.
- Leve a fresa em direção à peça no mesmo valor da profundidade de corte, a qual, como você deve estar lembrado, se encontra gravado no corpo da fresa.
- Usine os dentes da engrenagem.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Qual o valor do ângulo em que devemos inclinar o eixo do cabeçote porta-fresa, a fim de fresar engrenagens com dentes retos?

Exercício 2

Cite as vantagens do processo de fresagem Renânia em relação ao processo convencional?

Exercício 3

Que dados se encontram registrados na fresa caracol?

Exercício 4

Componha uma grade divisora para fresar uma engrenagem com dentes retos em que Z = 124. Consulte o detalhe de tabela abaixo.

Z	a	b	c	d
120	24	28	40	120
121	24	88	40	110
122	24	61	30	120
123	24	82	40	120
124	24	62	30	120
125	24	90	36	100
126	24	84	30	90
128	24	80	30	96
129	24	86	40	120
130	24	78	36	120

AULA

52

Fresando pelo processo Fellows

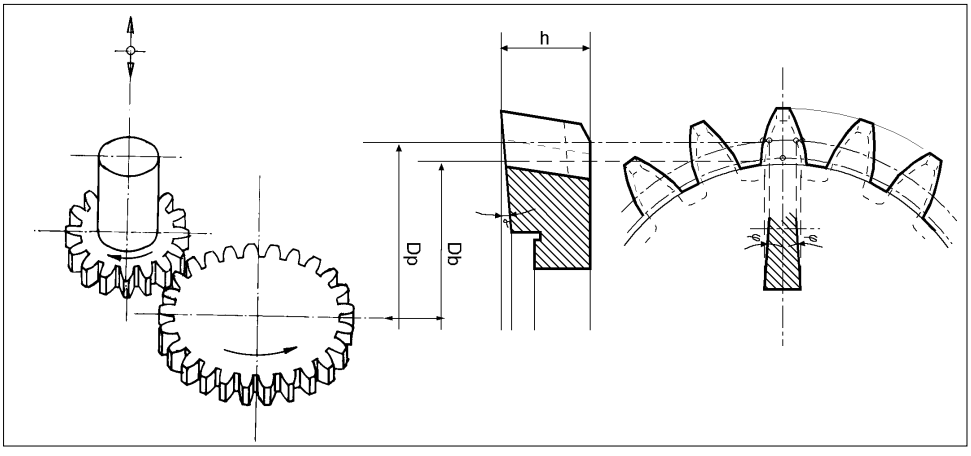
Na aula passada, você aprendeu como fresar segundo um processo especial, o Renânia. Nesta aula, você vai ver outro processo especial de fresagem, o processo Fellows, que é utilizado na indústria mecânica, principalmente em empresas fabricantes de máquinas, por permitir a construção de engrenagens externas e internas helicoidais com rapidez e exatidão.

Estude bem e, se necessário, recorra a aulas passadas para rever conceitos já aprendidos.

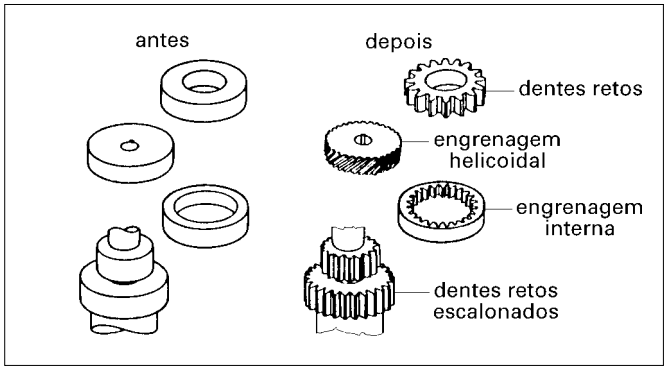
O processo Fellows

Nossa aula

Veja abaixo a figura de uma fresa Fellows usinando uma peça. Como você pode perceber, trata-se de uma fresa muito parecida com uma engrenagem cilíndrica com dentes retos. A diferença é que a fresa Fellows apresenta em seus dentes uma cunha de corte que faz a usinagem do material.



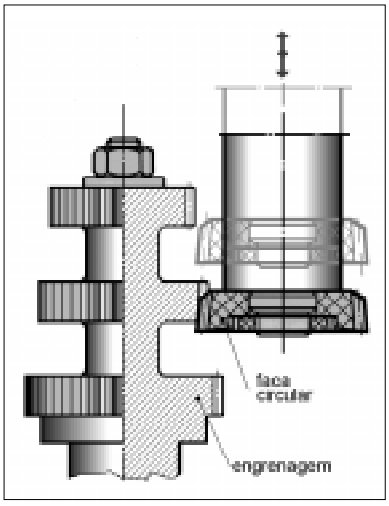
O aspecto construtivo da fresa mais os movimentos que ela executa constituem uma das vantagens do processo Fellows de fresagem. São eles que permitem fresar engrenagens com dentes escalonados em um mesmo eixo e em grande escala de produção. Veja, a seguir, alguns tipos de engrenagens produzidas pelo processo Fellows.



engrenagens diversas

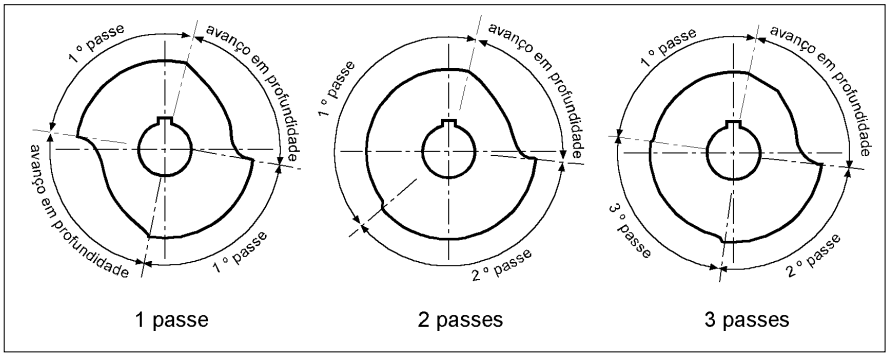
Um dos movimentos da fresa é o de rotação, que é dado pelo cabeçote onde ela se encontra fixada. Além desse movimento, a fresa Fellows executa também um movimento alternado de sobe e desce, o qual é dado por um sistema de alavancas que trabalham em sincronia com o movimento da mesa. Trata-se de um movimento semelhante ao movimento do torpedo da plaina vertical, que você já conhece. É o movimento de sobe e desce da fresa que executa a fresagem propriamente dita do material.

Ainda há um terceiro movimento efetuado pela fresa, o qual é dado pelo movimento horizontal do cabeçote porta-fresa. Trata-se de um movimento responsável pela penetração gradativa da fresa no blanque.



A penetração aumenta gradativamente graças a um came que se liga ao cabeçote. Este excêntrico funciona como o comando de válvulas de um automóvel. Quando sua parte mais distante do centro do eixo está em contato com a válvula, esta se abre. Caso contrário, isto é, quando a parte mais proxima do eixo está em contato com a válvula, esta se fecha.

O mesmo ocorre com o cabeçote porta-fresa. Quando a parte mais distante do centro do eixo está em contato com a mesa, maior é a profundidade de corte, isto é, mais a fresa penetra no blanque. Inversamente, quando a parte mais próxima do centro do eixo estiver em contato com a mesa, menor será a profundidade de corte da fresa.



detalhe do came

Assim, como já dissemos, são os movimentos da fresa Fellows mais seu aspecto construtivo que fazem do processo Fellows um processo especial de fresagem.

Mas não é só a fresa que executa movimentos diferenciados com relação a outros processos de fresagem. Também a mesa executa movimentos específicos como o movimento de rotação, graças a uma grade de engrenagens que faz a função do cabeçote divisor, tal como ocorre no processo Renânia. Veja a figura.

grade de engrenagens

A mesa executa também um movimento horizontal. O movimento horizontal da mesa faz com que durante o processo de usinagem ela seja aproximada da fresa no momento de descida desta e afastada dela no momento de subida. Em outras palavras, não há contato entre peça e ferramenta no momento de subida desta. Não havendo este contato, não há o risco de a aresta da cunha de corte se quebrar e, com isso, provocar danos à superfície da peça.

Assim, o contato entre peça e ferramenta não ocorre porque mesa e fresa trabalham sincronizadas. A sincronia de movimentos entre mesa e ferramenta é o que caracteriza processos especiais de fresagem como o processo Fellows e lhe confere vantagens não encontradas nos processos convencionais de fresagem.

Agora que você entendeu como funciona o processo Fellows de fresagem, podemos ver como usinar por este processo.

Usinando pelo processo Fellows

Vamos supor que você recebe a tarefa de fresar uma engrenagem de dentes retos, em que:

Z = 45
M = 2,5
ângulo de pressão (α) = 20º
largura do blanque (b) = 20 mm

Por onde começar?

- Escolha a fresa.

Observação: Pode-se escolher entre dois tipos de fresa. Veja a tabela a seguir.

MÓDULO		1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4
Cortador ∅ 3″	Número de dentes	76	61	51	43	38	34	30	28	25	23	22	20	19
Cortador ∅ 4″	Número de dentes	100	80	66	58	50	44	40	36	33	31	29	27	25

Assim, tem-se a possibilidade de escolher entre a fresa A e B:

fresa A	*fresa B*
∅ = 3″	∅ = 4″
M = 2,5	M = 2,5
Z = 30	Z = 40

No nosso caso vamos utilizar a fresa B.

- Fixe o blanque à mesa. Utilize um mandril apropriado.
- Fixe o cortador no eixo-árvore, por meio de um mandril apropriado.
- Monte a grade divisória. Para isso, utilize a tabela do fabricante ou calcule as engrenagens que irão compor a grade.

Dica tecnológica

O cálculo da grade de engrenagens é feito por meio da fórmula:

$$\frac{Z}{Z_n} = \frac{A}{B} \times \frac{C}{D}$$

em que:

Z = número de dentes da engrenagem
Z_n = número de dentes da fresa
A = engrenagem motriz
B, C = engrenagens intermediárias
D = engrenagem conduzida

No nosso caso, escolhemos trabalhar com a tabela do fabricante. Veja detalhe.

Z	A	B	C	D
44	44	Zn	60	60
45	45	Zn	60	60
46	46	Zn	60	60

Assim, temos que:
A = 45 C = 60
B = 40 D = 60

- Determine a altura do dente. Para isso, utilize a fórmula:
  $h = 2{,}25 \times M$ em que:

h = profundidade do dente
M = módulo
2,25 = constante, considerando-se a folga de engrenamento

Dica tecnológica

Você aprendeu que a altura do dente é dada pela fórmula: h = 2,166 × M. Mas na fresagem pelo sistema Fellows, é necessário aumentar essa altura de 2,22 a 2,25 × M. O valor 2,25 é o mais usado.

Substituindo vem:

h = 2,25 × 2,5
h = 5,625

Com este resultado, tem-se que a altura do dente é igual a 5,625.

- Regule o curso de subida e descida da ferramenta. Este deve ser de 2 a 3 mm maior que a largura do dente.
- Determine o número de golpes da ferramenta. Para isto, utilize tabela do fabricante. No nosso caso, este número é de 436 golpes/min, conforme detalhe de tabela.

largura da engrenagem	curso de subida e descida da ferramenta	velocidade de corte em m/ min.								
		10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
		número teórico de golpes p/ min.								
16	19		210	268	335	413	530	670		
18	21			242	303	374	478	605		
20	23			222	275	341	436	655	690	
22	26			196	245	302	386	490	612	
24	28				227	280	358	455	570	

- Monte o came. Para isso, considere o grau de usinagem exigido no desenho. No nosso caso, a usinagem será feita em um só passe.
- Tangencie o blanque com a fresa. Para isso:
  a) posicione o came em seu ponto mais alto;
  b) zere o anel graduado do cabeçote porta-fresa;
  c) gire manualmente o came até que a fresa se afaste da peça em todo o curso dele;
  d) posicione o came em seu ponto mais baixo.
- Usine a engrenagem.

AULA

53

Fresando com CNC

A sigla CNC significa comando numérico computadorizado e refere-se a máquinas-ferramenta comandadas por computadores. A primeira máquina-ferramenta controlada por computador foi uma fresadora. Ela surgiu em 1952 e destinava-se a usinar peças de geometrias complicadas utilizadas em aviões e helicópteros. Na verdade, tratava-se de uma fresadora já existente – fabricada por uma empresa americana chamada Cincinnati – que sofreu modificações em seus componentes mecânicos e recebeu um controlador eletrônico.

Este primeiro controlador eletrônico não lembra, nem de longe, os pequenos e poderosos controles numéricos atuais. Eles tinham várias vezes o tamanho da própria máquina, consumiam muita energia elétrica, falhavam freqüentemente e sua capacidade de cálculo era muito limitada, se comparada à tecnologia atualmente disponível.

No entanto, apesar dessas limitações, essa fresadora inaugurou a era das máquinas-ferramenta CNC.

Durante cerca de oito anos, entre 1952 e 1960, a utilidade desse novo tipo de tecnologia foi testada nos mercados dos Estados Unidos e da Europa. Os usuários de máquinas-ferramenta, desconfiados da eficiência dos equipamentos e assustados com os preços elevados, não aderiram imediatamente ao novo conceito de produção. Apenas poucas indústrias, como a aeronáutica e a automobilística, tinham condições financeiras para adquirir este tipo de equipamento.

Com a redução progressiva dos custos e o aumento da capacidade de cálculo dos controladores eletrônicos, a tecnologia CNC popularizou-se entre indústrias pequenas e médias. Hoje, é praticamente impossível imaginar a indústria, principalmente os setores mecânico e metalúrgico, sem a presença de máquinas-ferramenta CNC.

Os benefícios trazidos pela aplicação de comandos numéricos a máquinas-ferramenta foram inúmeros:

- fabricação de peças de geometrias mais complexas, tolerâncias dimensionais mais estreitas e melhor acabamento superficial;

- maior repetibilidade das características do produto: as peças produzidas são idênticas umas às outras, independentemente dos fatores humanos;
- redução da fadiga dos operadores humanos, que passam a ser responsáveis apenas por tarefas de preparação, programação e controle de produção das máquinas;
- flexibilização da produção, ou seja, possibilidade de fabricação de pequenos lotes de uma grande variedade de peças, sem que para isso sejam necessários ajustes demorados no equipamento;

Mas como freqüentemente ocorre no campo das inovações tecnológicas, o uso das máquinas CNC também trouxe alguns problemas, como:

- necessidade de investimentos relativamente elevados para aquisição dos equipamentos;
- necessidade de treinamento e capacitação de mão-de-obra, para utilização de todo o potencial tecnológico das máquinas;
- desemprego nos segmentos de indústria onde foram instaladas.

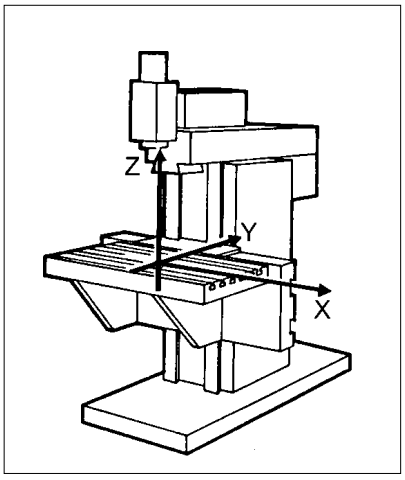
Alguns desses problemas, no entanto, poderiam ser solucionados na própria empresa. Assim, a recapacitação dos operários para novos postos de trabalho ou até sua absorção pelos próprios fabricantes dos equipamentos automáticos são soluções viáveis, que dependem basicamente da política social da empresa.

Nossa aula

Fresadoras CNC

Você já conhece o processo de fresamento convencional que utiliza fresadoras convencionais. Você deve então estar se perguntando: afinal, o que tem uma fresadora CNC que uma fresadora convencional não tem?

Se você olhar para uma fresadora CNC, vai notar componentes que já lhe são familiares como o cabeçote e a mesa, por exemplo. Mas, com certeza, vai sentir falta de muitos outros presentes na *velha* fresadora convencional.



fresadora CNC

Para começar, não há manípulos. Também não há aquelas alavancas e tabelas que permitem a determinação das rotações e avanços. Em compensação, você vai se ver, face a face, com um painel cheio de botões, teclas e luzes coloridas e uma tela, como as de um televisor, com um amontoado de informações que, em um primeiro momento, vão lhe deixar atordoado.

Logo, você vai se perguntar como fazer para movimentar a peça ou a ferramenta. A resposta está no grande armário de metal próximo à máquina. Nesse armário estão os componentes elétricos e eletrônicos, que são responsáveis pelo controle da operação da máquina. Entre esses componentes encontra-se o comando numérico computadorizado (CNC), que é um computador responsável, principalmente, pelos movimentos da máquina.

Além do CNC, há também os drivers. Esses são um conjunto de circuitos eletrônicos, destinados a controlar a rotação do motor e uma série de outros componentes auxiliares.

Vamos ver como tudo isso funciona?

O *comando numérico* lê, interpreta e executa cada um dos códigos que compõem o programa de usinagem da peça. Por exemplo, vamos supor que você quer que o eixo longitudinal da fresadora se desloque para a coordenada 120 mm, com um avanço de 250 mm/min. Para que o CNC entenda isso, você deve programar G1 X120. F250. Mas não se preocupe agora com esses códigos. Eles serão estudados oportunamente.

Para executar uma ordem, o CNC envia uma mensagem ao motor que está ligado ao eixo longitudinal da máquina. A ordem, na verdade, é um sinal elétrico que deixa o comando numérico para acionar diretamente o motor. No entanto, como este sinal elétrico é muito fraco e insuficiente, é necessário amplificá-lo.

A amplificação do sinal elétrico é feita pelos drivers. Em outras palavras, o driver recebe um *sinalzinho* do CNC e envia um *sinalzão* ao motor. A partir daí o motor gira no ângulo e velocidade desejados. Viu por que os manípulos e as alavancas não são mais necessários?

Mas ainda resta um problema: será que a ordem foi fielmente obedecida? Será que o motor girou exatamente o que você queria e na velocidade que você determinou?

Você pode verificar se a ordem dada pelo CNC foi cumprida por meio dos sensores. Os sensores são os *olhos* do comando numérico. Eles informam ao CNC o que está ocorrendo com a máquina e permitem a correção de eventuais desvios entre o programado e o real. Os principais sensores são os de posição e de velocidade.

Em relação às fresadoras convencionais, além de toda esta parafernália eletrônica, as fresadoras CNC modernas também apresentam melhoramentos mecânicos.

Assim, os fusos, antes trapezoidais, passam a ter um perfil semicircular e contam com esferas para reduzir o atrito e aumentar a exatidão da máquina. Com os mesmos objetivos, os antigos barramentos são substituídos por guias lineares de rolamentos. Além disso, a estrutura da máquina também é reforçada para permitir maiores taxas de remoção de cavacos.

Finalmente, as fresadoras CNC são adequadas para a produção de pequenos lotes de peças de um mesmo tipo e, às vezes, um lote único.

Os centros de usinagem

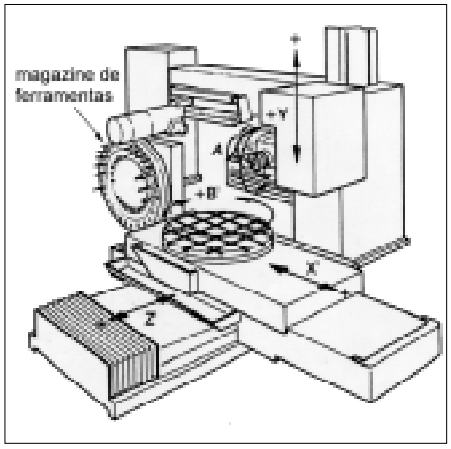
A evolução natural das fresadoras acabou por dar origem aos chamados centros de usinagem.

Os centros de usinagem são, na verdade, fresadoras às quais se juntaram outros sistemas mecânicos e eletrônicos, para obter uma máquina mais versátil.

Todo centro de usinagem tem um dispositivo conhecido como *magazine* de ferramentas.

O *magazine* tem a função de alojar um certo número de ferramentas, o qual pode chegar a mais de uma centena.

Os magazines constituem-se, normalmente, de um cabeçote giratório e de esteiras. O cabeçote giratório, também conhecido como *torre* ou *revólver,* comporta poucas ferramentas. As esteiras ou correntes arrastam os porta-ferramentas e comportam uma grande quantidade de ferramentas.



centro de usinagem

Para efetuar a troca da ferramenta que está no cabeçote por uma das que se encontram no magazine, é necessário um mecanismo conhecido como ATC, abreviação do termo, em inglês, *Automatic Tool Changer*, ou seja, trocador automático de ferramentas.

Os magazines e os ATCs possibilitam a troca automática de uma ferramenta por outra e aumentam a independência da máquina em relação à presença do operador humano. Uma mesma máquina pode fazer operações de fresamento, furação, mandrilamento, alargamento, rosqueamento etc., eliminando-se o tempo gasto na preparação de várias máquinas e o transporte do produto entre elas.

Assim, o produto fica pronto mais rapidamente e a um custo menor. Estes fatores podem ser decisivos para a sobrevivência da empresa, principalmente se for levada em conta a concorrência internacional à qual se encontram cada dia mais sujeitas.

Os centros de usinagem, ao contrário das fresadoras CNC, são mais utilizados na produção de lotes médios e grandes de peças. Nesse caso, a tecnologia CNC, voltada para a flexibilidade, isto é, a produção de lotes médios de peças variadas, foge do tipo de aplicação para a qual foi criada.

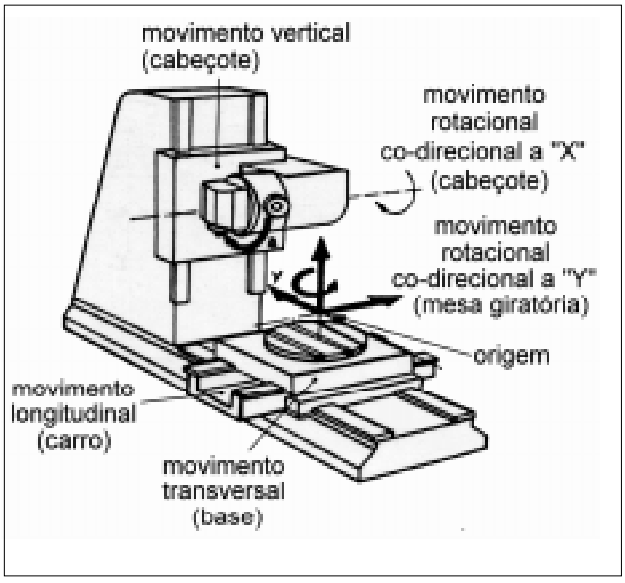
Colocando os pontos nos eixos

Em máquinas comandadas numericamente, um conceito muito importante é o de *eixo.* O número de eixos é o número de movimentos que a máquina pode executar ao mesmo tempo.

Como os tornos, as fresadoras e centros de usinagem têm eixos longitudinal e transversal, denominados *X* e *Y*, respectivamente. Além desses, possuem ainda o eixo vertical (nas máquinas verticais) ou horizontal (nas fresadoras e centros de usinagem horizontais). O eixo vertical é chamado eixo *Z*.

Quando os eixos *X, Y* e *Z* se movimentam ao mesmo tempo, diz-se que as máquinas são de três eixos. Quando a ferramenta pode se movimentar simultaneamente nos eixos *X* e *Y*, ficando o eixo *Z* somente para os movimentos de aproximação e afastamento da ferramenta em relação à peça, diz-se que se trata de uma máquina de dois eixos e meio.

Esta característica é importante quando se desejam fresar superfícies com formatos complicados, como as dos moldes destinados a estampar peças de carroceria de automóveis. Para que a chapa de aço adquira aquele formato todo arredondado, ao ser prensada, a cavidade do estampo deve ter a mesma geometria.



fresadora de 5 eixos

Antigamente, e mesmo ainda hoje, a usinagem dessa cavidade era feita com o auxílio das fresadoras copiadoras. As máquinas *apalpavam* um modelo e faziam a ferramenta reproduzir a geometria desse modelo sobre um bloco de aço. Atualmente, é possível usinar todo o molde com a ajuda das fresadoras CNC.

Para peças de formatos ainda mais complicados, principalmente as utilizadas na construção de aviões, existem fresadoras com 4 ou 5 eixos,como a mostrada na figura ao lado. Nessas máquinas, além dos eixos lineares *X, Y* e *Z*, a ferramenta ainda pode apresentar um ou dois movimentos angulares, com cursos de aproximadamente 40°.

Conversando com um centro de usinagem CNC

Vamos supor que você precisa elaborar um programa para usinar em uma fresadora CNC a peça apresentada abaixo. Por onde começar?

Fase inicial da programação

- Determine os valores das coordenadas dos pontos que compõem o perfil a ser fresado. Observe que, agora, os eixos são denominados *X* e *Y*, e não mais *X* e *Z*, como no caso dos tornos.

PONTO	COORDENADA X	COORDENADA Y
A	10.	0
B	50.	0
C	50.	10.
D	55.	15.
E	70.	15.
F	70.	40.
G	60.	50.
H	0	50.
I	0	10.

Tabela de coordenadas dos pontos do perfil a ser fresado

- Indique o número de identificação do programa. Assim, o primeiro bloco do programa fica:

O 1500

- Informe ao comando numérico da máquina que a unidade de medida dos valores de coordenadas são milímetros. Como no caso do torno, isso é feito com a função G21.

Dica tecnológica

Se você programasse a função G20, os valores de coordenadas seriam entendidos como sendo em polegadas. Além disso, as coordenadas devem ser interpretadas como absolutas e não relativas. O que é feito, portanto, por meio da função G90.

- Informe igualmente à unidade o valor de avanço indicado pela função F nos blocos de movimentação linear e circular. Há duas possibilidades:

G94	G95
avanço F em mm/min	avanço F em mm/rot

- Selecione a função G94. Ou seja, a unidade de avanço será mm/min.
- Informe, finalmente, à máquina em que lugar da memória do comando numérico encontram-se as informações necessárias à localização do zero-peça. Tem-se assim o segundo bloco do programa: G21 G90 G94 G55.

Dica tecnológica

Nem todas as fresadoras e centros de usinagem são programados dessa maneira. Na verdade, um grande número deles apresenta seis endereços onde podem ser armazenados os dados referentes à localização do zero-peça. Esses endereços são indicados por meio das funções G54 a G59. No nosso caso escolhemos a função G55. Isso significa que, quando a máquina for preparada para usinar a peça programada, o preparador deve, necessariamente, registrar a localização do ponto zero-peça, de acordo com o estabelecido no programa, ou seja, no endereço G55.

- Fixe no cabeçote da máquina à ferramenta para usinar o perfil. A fresa escolhida deve ser a de topo de diâmetro 8 mm.
- Monte a fresa na posição número 4 do magazine.
- Gire o magazine da máquina e posicione a ferramenta selecionada de modo que o mecanismo de troca (ACT) possa agarrá-la. Para isso use o bloco T04.
- Programe a função M6 para realizar a troca. Logo, este bloco fica M6.

Observação: A troca ocorre quando o ATC retira a ferramenta que está no cabeçote e coloca-a no magazine.

- Ligue o motor do cabeçote da máquina. Para isso:

a) selecione a rotação desejada por meio da função *S*. Por exemplo, S2400, ou seja, 2400 rpm;
b) em seguida, ligue o motor, fazendo a ferramenta girar no sentido horário, isto é no sentido da ferramenta para a mesa da máquina. Para isso, use a função M3. Caso esteja usando uma fresa com hélice à esquerda, faça-a girar no sentido anti-horário por meio da função M4;
c) tem-se então o bloco S2400 M3.

- Agora, aproxime a ferramenta da peça. O bloco de movimentação fica G0 X – 10.Y – 10. Z50.

Dica tecnológica
Se o centro de usinagem for uma máquina de três eixos, aproxime a ferramenta por meio de um movimento que ocorra ao mesmo tempo nos eixos *X, Y* e *Z*. Escolha um ponto de aproximação 50 mm acima da superfície da peça, a fim de evitar colisões com dispositivos de fixação.

- Desça a ferramenta segundo o eixo Z, até que a ponta da fresa atinja a coordenada Z = –10 mm. Considere uma profundidade de corte de 10 mm.
- Ligue, ainda nesta posição, o fluido de corte por meio da função M8. Tem-se, então, o bloco G0 Z – 10.M8.

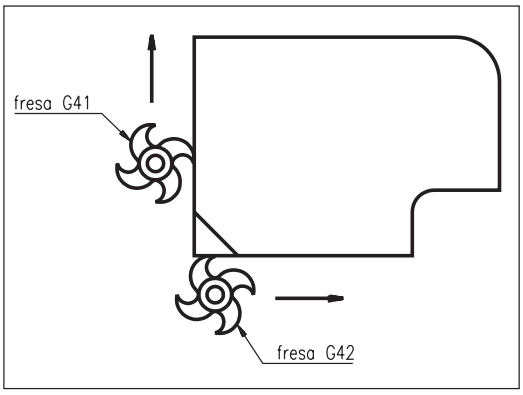
Compensação da ferramenta

Antes de iniciar a usinagem do perfil, é necessário ativar a compensação da ferramenta. Isto é feito programando-se a função de compensação em um bloco e, no bloco seguinte, posicionando-se a ferramenta, de modo que a periferia da fresa tangencie o primeiro elemento do perfil.

Dica tecnológica
A compensação da ferramenta é necessária porque quando o comando numérico executa uma função de movimentação, como G0 ou G1, por exemplo, o centro da ferramenta é posicionado na coordenada do ponto desejado. Mas, no nosso caso, é a periferia da fresa, e não seu centro, que deve seguir o perfil formado pelos pontos dados na tabela da página anterior.

Assim, quando compensamos o raio da ferramenta por meio da função G42 ou G41, estamos compensando a diferença que existe entre o centro da ferramenta e a sua periferia, ou seja, o raio da fresa de topo.

Se a fresa percorre o perfil e permanece à sua direita, a compensação é feita com o auxílio da função G42. É o que ocorre quando a fresa passa pelos pontos A, B, C, D e sucessivamente. Se, pelo contrário, a fresa percorre o perfil em sentido oposto, ou seja, passando pelo pontos I, H, G, F etc., ela permanece à esquerda do perfil. Neste caso, usamos a função G41. Veja a figura.



No nosso caso, escolhemos percorrer o perfil no sentido anti-horário. Assim, a fresa permanece à direita do perfil. Então, a função de compensação será G42.

O ponto de aproximação escolhido será o da coordenada -10,0. Então, os blocos do programa ficam G42, G0 X-10 Y0.

Com a ferramenta já compensada, pode-se iniciar a usinagem do perfil. Para isso, proceda como segue.

- Faça um deslocamento linear até o ponto A. Utilize o seguinte bloco: G1 X10. Y0. F250.

Dica tecnológica

Não é necessário repetir em um bloco o que não mudou em relação ao bloco anterior.

- Continue o deslocamento até o ponto B através do seguinte bloco: G1 X . 50.Y0. F250.
- Desloque até o ponto C, usando o bloco G1 X50. Y10. F250.
- Descreva o arco no sentido horário levando a ferramenta até o ponto D com G2 X55. Y15. R5. F250.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Escreva os blocos de movimentação até completar o perfil, isto é, até chegar novamente ao ponto A. Em seguida, confira os blocos escritos com os blocos abaixo:

De D para E: G1 X70. Y15. F250;
De E para F: G1 X70. Y40. F250;
De F para G: G3 X60. Y50. R10. F250;
De G para H: G1 X0. Y50. F250;
De H para I: G1 X0. Y10. F250;
De I para A: G1 X10. Y0. F250;

Terminamos a usinagem. Vamos então programar um movimento de saída da ferramenta.

Programando o movimento de saída da ferramenta

Proceda da seguinte maneira:

- programe o movimento de saída da ferramenta até o ponto de coordenada, segundo uma tangente ao perfil -20,-10;
- desligue, em seguida, o fluido de corte por meio da função M9. Os blocos ficam então **G0 X–20.Y–10. M9;**
- desloque a fresa no sentido positivo do eixo Z, subindo até uma posição que permita a retirada da peça do dispositivo de fixação;
- desligue o motor do cabeçote por meio da função M5. Tem-se então: G0 Z200. M5;
- indique o término do programa com o bloco M30.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 2

Crie, para cada uma das peças da figura abaixo, um programa de usinagem para dar um passe de acabamento ao longo do perfil externo.

AULA

54

Retificação: conceitos e equipamentos

Até a aula anterior, você estudou várias operações de usinagem executadas em fresadora, furadeira, torno, entre outras.

A partir desta aula, vamos estudar os processos de usinagem por abrasão. Um destes processos é a retificação numa máquina-ferramenta chamada retificadora. Esta é uma máquina utilizada para dar acabamento fino e exatidão às dimensões das peças.

Geralmente, este tipo de usinagem é posterior ao torneamento e ao fresamento, para um melhor acabamento de superfície. O sobremetal deixado para o processo de retificação é de 0,2 a 0,5 mm, porque a retificadora é uma máquina de custo elevado e seu emprego encarece o produto.

Mas, se o objetivo é produzir com dimensão exata e menos rugosidade da superfície, recomenda-se, após a fresagem, o torneamento e a furação, dar a cabamento às peças com emprego da retificadora.

Nesta aula, você terá noções gerais de retificadora e de rebolo, que é a ferramenta principal do processo de retificação.

Retificação

Nossa aula

A retificação é um processo de usinagem por abrasão que retifica a superfície de uma peça. Retificar significa corrigir irregularidades de superfícies de peças.

Assim, a retificação tem por objetivo:

a) reduzir rugosidades ou saliências e rebaixos de superfícies usinadas com máquinas-ferramenta, como furadeira, torno, plaina, fresadora;
b) dar à superfície da peça a exatidão de medidas que permita obter peças semelhantes que possam ser substituídas umas pelas outras;
c) retificar peças que tenham sido **deformadas** ligeiramente durante um processo de tratamento térmico;
d) remover camadas finas de material endurecido por têmpera, cementação ou nitretação.

AULA

54

Retificadoras

A retificadora é uma máquina empregada na usinagem de peças para dar às suas superfícies uma exatidão maior e um melhor acabamento do que os conseguidos em máquinas convencionais.

Os materiais ou peças geralmente precisam ser submetidos a tratamento térmico de têmpera para serem retificados.

Classificação

Há basicamente três tipos de retificadora: a plana, a cilíndrica universal e a cilíndrica sem centros (*center less*). Quanto ao movimento, em geral as retificadoras podem ser manuais, semi-automáticas e automáticas. No caso da center less, ela é automática, pois se trata de uma máquina utilizada para a produção em série.

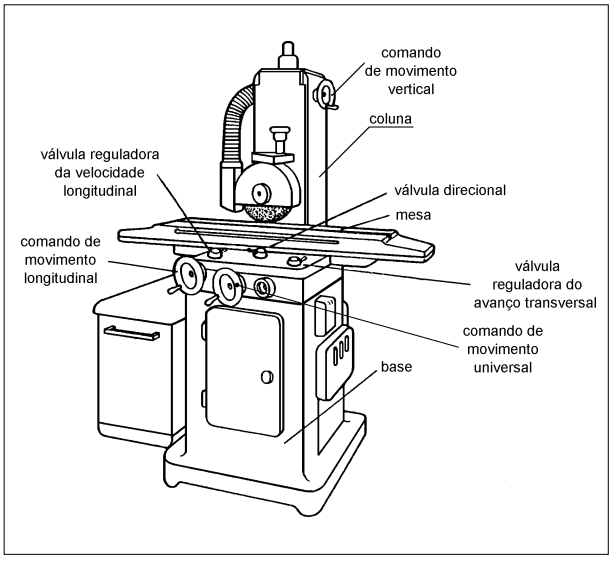
Retificadora plana

Esse tipo de máquina retifica todos os tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

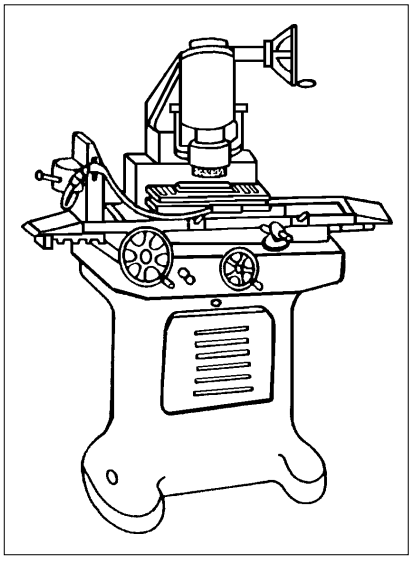
Na retificadora plana, a peça é presa a uma placa magnética, fixada à mesa da retificadora. Durante a usinagem, a mesa desloca-se em um movimento retilíneo da direita para a esquerda e vice-versa, fazendo com que a peça ultrapasse o contato com o rebolo em aproximadamente 10 mm. Há também o deslocamento transversal da mesa. O movimento transversal junto com o movimento longitudinal permitem uma varredura da superfície a ser usinada.

O valor do deslocamento transversal depende da largura do rebolo.

A retificadora plana pode ser tangencial de eixo horizontal e de topo de eixo vertical.



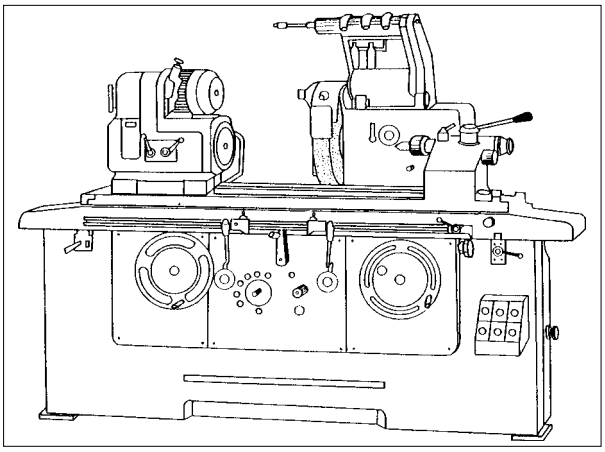
retificadora plana tangencial



retificadora plana vertical

Retificadora cilíndrica universal

A retificadora cilíndrica universal retifica superfícies cilíndricas, externas ou internas e, em alguns casos, superfícies planas em eixos rebaixados que exijam faceamento.



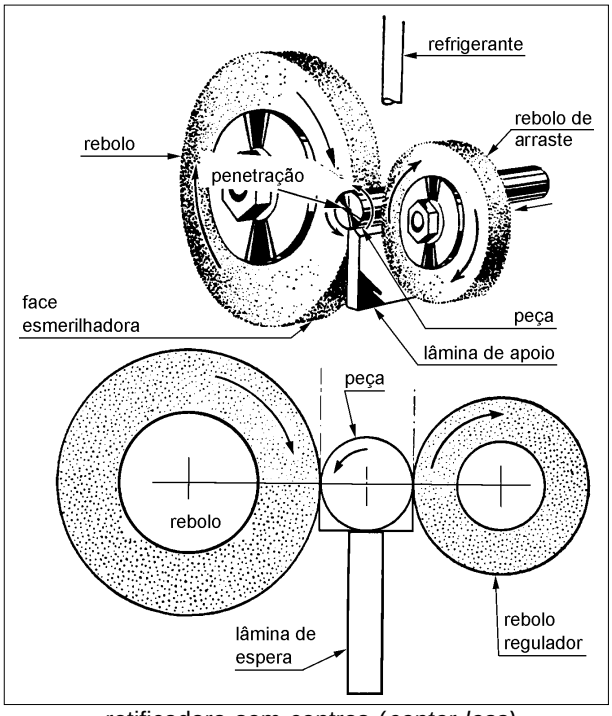
retificadora cilíndrica universal

A peça é fixa, por exemplo, a uma placa universal como a utilizada no torno, que é dotada de um movimento de rotação. O rebolo em movimento de rotação entra em contato com a peça e remove o material.

Retificadora sem centros (*center less*)

Esse tipo de retificadora é muito usado na produção em série. A peça é conduzida pelo rebolo e pelo disco de arraste.

O disco de arraste gira devagar e serve para imprimir movimento à peça e para produzir o avanço longitudinal. Por essa razão, o disco de arraste possui uma inclinação de 3 a 5 graus, que é responsável pelo avanço da peça.

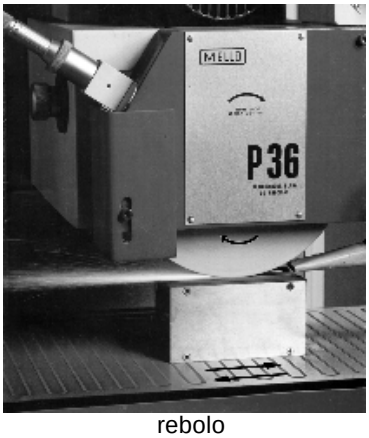


retificadora sem centros (*center less*)

AULA

54

Rebolo

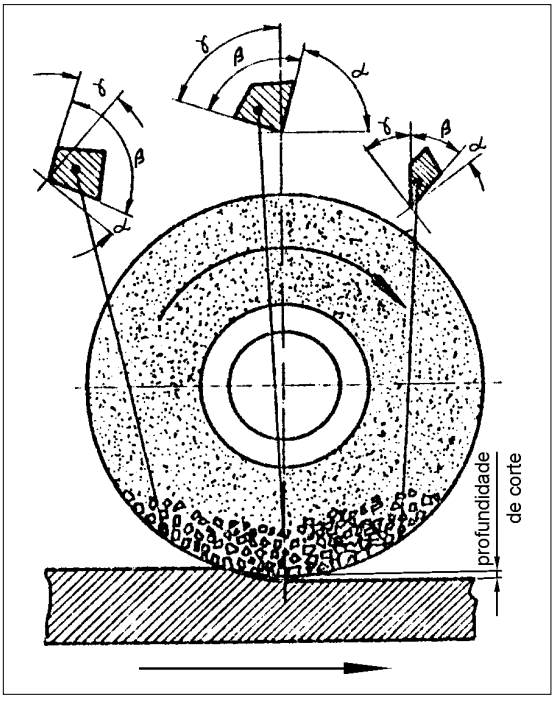


rebolo

A ferramenta de corte utilizada na retificadora é o rebolo, cuja superfície é abrasiva, ou seja, apresenta-se constituída de grãos de óxido de alumínio ou de carbeto de silício, entre outros.

Por isso, a usinagem com rebolo é designada como um processo de usinagem por abrasão. Trata-se do mesmo sistema empregado pelo dentista quando ele utiliza um instrumento giratório com uma espécie de lixa redonda para limpar ou polir nossos dentes.

O desgaste do material a ser usinado é muito pequeno, porque o rebolo arranca minúsculos cavacos durante a operação de corte, quando a aresta dos grãos abrasivos incide sobre a peça.



rebolo (ângulo de ataque negativo)

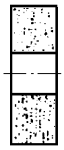
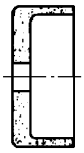
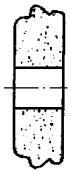
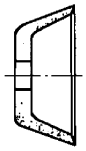
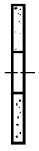
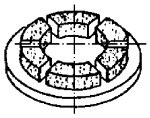
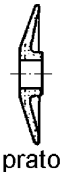
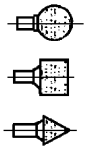
O ângulo de ataque desses grãos é geralmente negativo. Veja a figura acima.

O rebolo apresenta cinco elementos a serem considerados.

- Abrasivo – material que compõe os grãos do rebolo.
- Granulação – tamanho dos grãos abrasivos.
- Aglomerante – material que une os grãos abrasivos.
- Grau de dureza – resistência do aglomerante.
- Estrutura – porosidade do disco abrasivo.

Existem vários tipos e formas de rebolo, adequados ao trabalho de retificação que se deseja fazer e, principalmente, à natureza do material a ser retificado. Veja a tabela a seguir.

Tabela - Formas e aplicações dos rebolos

Forma	Aplicação	Forma	Aplicação
 disco reto	Afiação de brocas e ferramentas diversas	 copo reto	Afiação de fresas frontais, fresas de topo, fresas cilíndricas, machos, cabeçotes porta-bits.
 perfilado	Peças perfiladas	 copo cônico	Afiação de fresas angulares, rebaixadores, broca de 3 e 4 arestas cortantes, fresas frontais, fresas de topo.
 disco	Afiação de machos, brocas	 segmentos	Retificação plana de ataque frontal no faceamento de superfícies.
 prato	Afiação de fresas de forma, fresas detalonadas, fresas cilíndricas, fresas frontais, fresas de disco.	 pontas montadas	Ferramenta de corte e estampos em geral.

Para que a superfície retificada apresente exatidão dimensional e bom acabamento, é necessário levar em conta o tipo de material a usinar, o tipo de trabalho a ser feito e o tipo de granulação e o aglomerante do rebolo. Veja abaixo exemplo para a retificação de aço não temperado.

TIPO DE TRABALHO	TIPO DE GRANULAÇÃO	TIPO DE AGLOMERANTE
Desbaste	Grossa	Vitrificado
Semi-acabamento	Média	Vitrificado
Retificação fina	Fina	Resinóide, borracha, goma-laca, vitrificado

O aglomerante vitrificado, utilizado na maioria dos rebolos fabricados, está entre 70% e 80% do total.

Quanto à velocidade da mesa, existem as seguintes relações:

material mole – maior velocidade da mesa
material duro – menor velocidade da mesa

rebolo de liga vitrificada – baixa velocidade (até 33 m/s)
rebolo de liga resinóide – alta velocidade (até 45 m/s)

Quanto à dureza do rebolo:

material mole – rebolo duro
material duro – rebolo mole

Quanto à estrutura

desbaste	–	estrutura aberta
acabamento	–	estrutura fechada

Rugosidade

Rugosidades são irregularidades micrométricas que se formam na superfície da peça, durante o processo de usinagem.

Na retificação, elas podem ser causadas por folgas nos eixos, irregularidades no movimento da mesa, desbalanceamento do rebolo e granulação do abrasivo, entre outras causas. Observe no quadro abaixo a relação entre rugosidade (Ra), granulação do abrasivo e a profundidade de corte do rebolo.

12,5	Granulação	40 a 60
	Profundidade	10 a 30 μm
6,3	Granulação	80 a 100
	Profundidade	5 a 15 μm
0,8	Granulação	200 a 300
	Profundidade	1 a 8 μm

Resumo

Nesta aula, você teve as seguintes informações:

- a retificadora é uma máquina que usina peças com a finalidade de tornar uma superfície precisa e com bom acabamento;
- materiais e peças podem ser retificados com ou sem tratamento térmico;
- quanto ao tipo de usinagem a fazer, a retificadora pode ser plana e cilíndrica universal;
- a retificadora plana retifica superfícies planas paralelas, perpendiculares ou oblíquas;
- a retificadora plana pode ser tangencial de eixo horizontal e de topo de eixo vertical;
- a retificadora cilíndrica universal retifica superfícies cilíndricas externas e internas. Em alguns casos, retifica superfícies planas com operação de faceamento;
- o rebolo é a parte central da retificadora. É uma ferramenta abrasiva que gira em alta velocidade, em contato com a superfície a ser retificada;
- o rebolo apresenta cinco elementos: abrasivo, granulação, aglomerante, grau de dureza e estrutura;
- esses elementos devem ser levados em conta para a escolha adequada do rebolo ao tipo de superfície a ser retificada.

Agora, procure verificar se aprendeu tudo. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta correta.

Exercício 1

O sobremetal deixado para o processo de retificação é:

a) ( ) 2 a 4 mm;
b) ( ) 1 a 2 mm;
c) ( ) 0,8 a 1 mm;
d) ( ) 0,2 a 0,5 mm;
e) ( ) 0,02 a 0,05 mm.

Exercício 2.

A máquina que usina peças por meio de uma ferramenta abrasiva dando exatidão de medidas e bom acabamento denomina-se:

a) ( ) fresadora;
b) ( ) furadeira;
c) ( ) retificadora;
d) ( ) serra de corte.

Exercício 3.

A ferramenta de corte da retificadora é denominada:

a) ( ) mesa de seno;
b) ( ) base;
c) ( ) coluna;
d) ( ) rebolo.

Exercício 4

Para retificar superfícies planas, usa-se geralmente a retificadora:

a) ( ) circular;
b) ( ) cilíndrica;
c) ( ) plana;
d) ( ) cônica.

AULA

55

Preparação de máquina

A retificação é um dos processos de usinagem por abrasão. Basicamente, a retificação visa corrigir as irregularidades de superfícies de peças ou materiais submetidos a operações antecedentes.

Mas, seja qual for o objetivo da retificação, é preciso preparar a retificadora antes de iniciar a operação. É o que vamos estudar nesta aula.

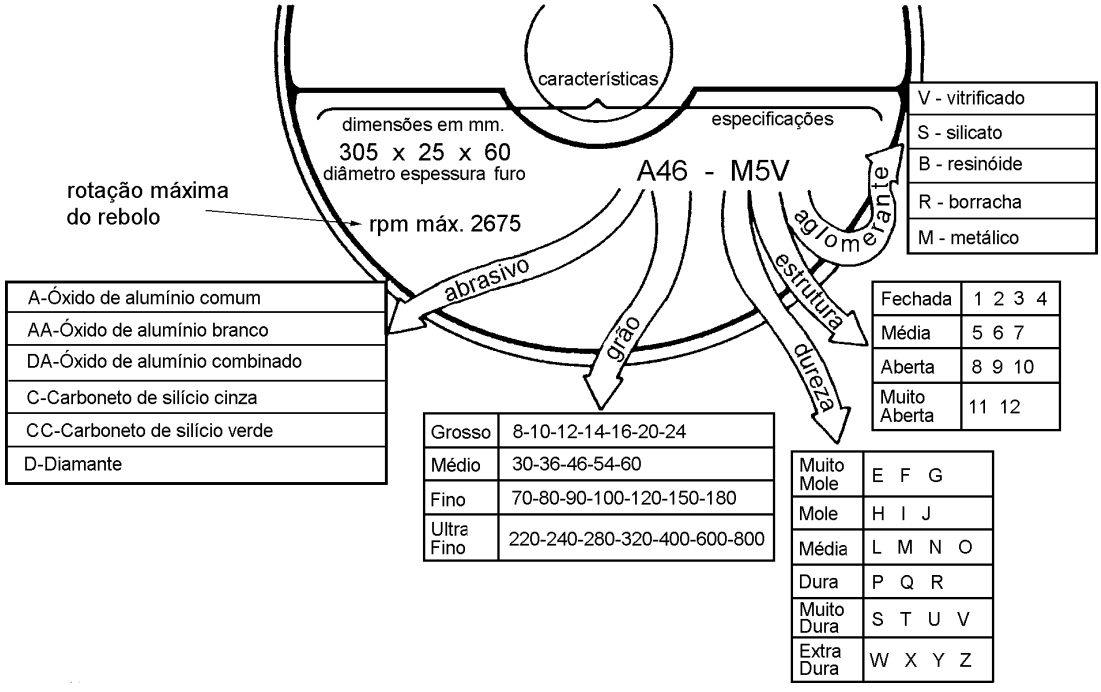
Nossa aula

Procedimentos de preparação da máquina retificadora

Esses procedimentos referem-se à escolha e balanceamento do rebolo, sua montagem na máquina retificadora, à dressagem e medidas de segurança, que devem ser tomadas pelo operador.

Escolha e preparação de rebolos

Os fabricantes de rebolos adotam um código internacional, constituído de letras e números para indicar as especificações do rebolo, conforme ilustração a seguir.



V - vitrificado	
S - silicato	
B - resinóide	
R - borracha	
M - metálico	

A-Óxido de alumínio comum	
AA-Óxido de alumínio branco	
DA-Óxido de alumínio combinado	
C-Carboneto de silício cinza	
CC-Carboneto de silício verde	
D-Diamante	

Fechada	1 2 3 4
Média	5 6 7
Aberta	8 9 10
Muito Aberta	11 12

Grosso	8-10-12-14-16-20-24
Médio	30-36-46-54-60
Fino	70-80-90-100-120-150-180
Ultra Fino	220-240-280-320-400-600-800

Muito Mole	E F G
Mole	H I J
Média	L M N O
Dura	P Q R
Muito Dura	S T U V
Extra Dura	W X Y Z

Para a escolha do rebolo são levados em conta: abrasivos, grãos, dureza, estrutura e aglomerantes.

Tipos de abrasivos

Atualmente, são utilizados para confecção de rebolos grãos abrasivos obtidos artificialmente, já que os de origem natural deixaram de ser aplicados pelo seu alto custo. Os principais são:

Óxido de alumínio (Al_2O_3) – Obtido a partir do mineral denominado "bauxita" por um processo de redução, apresenta-se em duas qualidades segundo o critério de pureza conseguida na sua elaboração:

- Óxido de alumínio comum (A) – De cor acinzentada, com pureza química em torno de 96-97%, e tendo como principal característica a sua alta tenacidade, a qual se presta nos casos de retificação de materiais que tenham elevada resistência à tração.
- Óxido de alumínio branco (AA) – Com 99% de pureza, distingue-se pela sua cor, geralmente branca, e com propriedades semelhantes ao óxido de alumínio comum, porém devido a sua pureza e forma de obtenção (cristalizado) torna-se mais quebradiço. Por isso, é empregado em retificações que requerem nível baixo de calor, gerado entre o rebolo e a peça, e ao mesmo tempo boa qualidade de acabamento em superfície com menor tempo de execução. Como exemplo podemos citar aços-ligas em geral.

Carbeto de silício (SIC) – Obtido indiretamente por meio da reação química de sílica pura com carvão coque em fornos elétricos. Este tipo de abrasivo apresenta maior dureza que os óxidos de alumínio, sendo conseqüentemente mais quebradiço. É empregado em materiais de baixa resistência à tração, porém, de elevada dureza. Como exemplo temos: vidros, porcelanas, ferros fundidos (tratados ou não superficialmente), plásticos, alumínio e carbonetos (metal duro).

Esses abrasivos podem ser reconhecíveis, também, pela coloração: **pretos** e **verdes,** sendo este último empregado nas afiações de ferramentas de metal duro; por serem mais quebradiços que os pretos não alteram a constituição do metal duro.

Carbeto de boro (B_4C) – Com características superiores aos anteriores, é pouco empregado na fabricação de rebolo. É utilizado mais comumente em forma de bastonetes para retificação de ferramentas, devido ao seu alto custo.

Diamante – Material mais duro encontrado na natureza, é utilizado em estado natural ou sintético na elaboração de rebolos para lapidação.

Classificação do abrasivo quanto ao tamanho e simbologia

O tamanho do grão (grana) é determinado por meio do peneiramento. O peneiramento é feito através de peneiras sucessivas, com um certo número de malhas por polegada linear.

Exemplo:

– Tamanho de grão 80

Significa que foi obtido através de uma peneira cujo lado tem 1/80 de polegada (aproximadamente 0,32 mm). A tabela a seguir mostra os tipos de grana empregado no mercado:

Muito grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito fino	Pó
6	16	36	100	280	600
8	20	46	120	320	700
10	24	54	150	400	800
12	30	60	180	500	1000
14		(70)	220		1200
		80	240		1600

– Simbologia do grão abrasivo

A – Óxido de alumínio comum – AA – Óxido de alumínio branco
C – Carboneto de silício preto – GC – Carboneto de silício verde
DA – Mistura de 50% de óxido de alumínio comum com 50% de óxido de alumínio branco
D – Diamantado (C)

Observação: Qualquer outro símbolo anexado aos mencionados determinam aperfeiçoamento das fábricas produtoras de grão ou rebolo.

Aglomerante ou liga

Como já citamos, o elemento aglomerante do abrasivo permite que a ferramenta mantenha a sua forma e resistência, dando-lhe condições de fazer o trabalho desejado e desprender o grão quando ele perder suas características de corte. A proporção e qualidade da liga bem como o abrasivo determinam dureza e grau de porosidade, exigidos pelo tipo de retificação.

As ligas mais empregadas são:

- *Vitrificadas (V):* feitas à base de mistura de feldspato e argila, são as mais utilizadas, pois não sofrem ataque ou reação química pela água, óleo ou ácidos. São usadas nas máquinas retificadoras com velocidade periférica de no máximo 35 m/s.

- *Resinóides (R):* são feitos com base em resinas sintéticas (fenólicas) e permitem a construção de rebolos para serviços pesados com cortes frios e em alta velocidade, que nunca deve superar 80 m/s.

- *Borracha (R):* utilizada em aglomerante de ferramentas abrasivas para corte de metais e em rebolos transportadores das retificadoras sem centro (center less).

- *Goma-laca (E) e Oxicloretos (O):* atualmente em desuso e só aplicada em trabalhos que exijam cortes extremamente frios em peças desgastadas.

Simbologia das principais ligas:

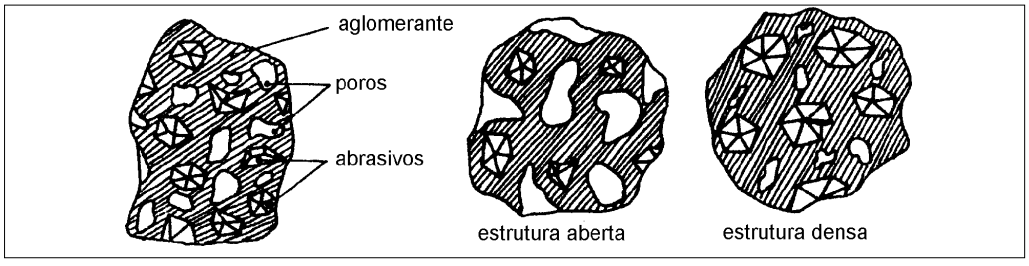
V = Vitrificadas	O = Oxicloretos
E = Goma-laca	R = Borracha
B = Resinóides	S = Silicato

Grau de dureza

O grau de dureza de um rebolo é a medida do poder de retenção dos grãos abrasivos pelo aglomerante. Um rebolo muito duro retém seus grãos até depois de estes terem perdido a capacidade de corte. Um rebolo muito mole perde seus grãos antes de estes terem executado inteiramente o trabalho. No caso de usinagem de materiais que tendem a empastar o rebolo, deve-se usar um rebolo mole, que solte os grãos com mais facilidade.

Estrutura

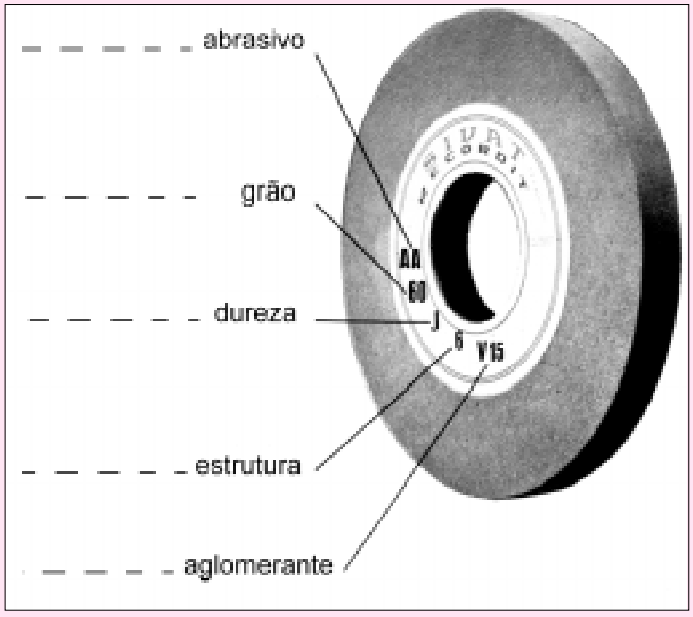
Estrutura é o grau de compactação dos grãos abrasivos no rebolo e refere-se também à porosidade do rebolo.



Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Complete as lacunas com as características do rebolo representado pela figura.



AULA

55

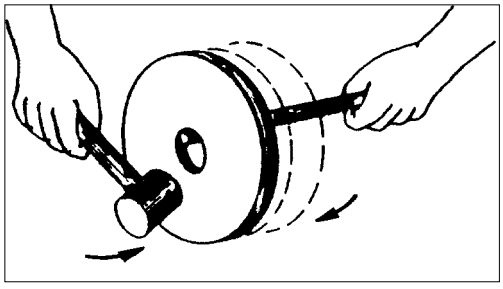
Balanceamento do rebolo

Depois de escolher o rebolo, é preciso balanceá-lo e dressá-lo. Assim, ele fica bem equilibrado, evita vibrações na retificadora e permite a obtenção de superfícies de acabamento fino.

Vamos ver, de modo geral, como se balanceia um rebolo.

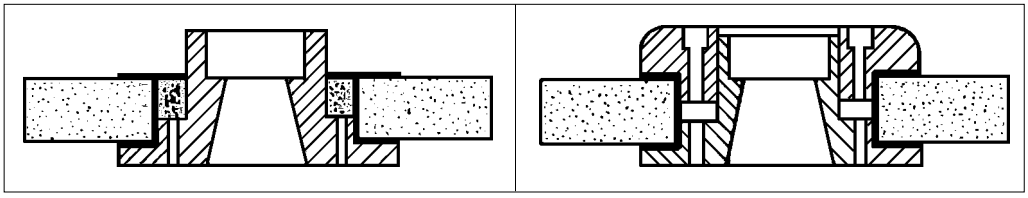
Primeiro, é preciso verificar se o rebolo está trincado. Para isso, é preciso suspender o rebolo pelo furo e submetê-lo a pequenos e suaves golpes, dados com um macete ou cabo de chave de fenda.

Se o rebolo não estiver trincado, ele produzirá um leve som "metálico". Se tiver trincas, o som será "apagado". Neste caso, o rebolo deve ser substituído por outro em bom estado.

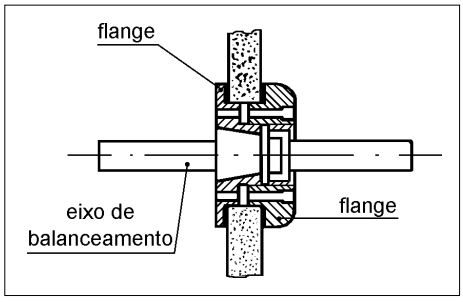


Os rebolos possuem um **"rótulo"** de papel em suas laterais. Esses **"rótulos"** não devem ser retirados, pois servem para melhorar o assentamento dos flanges, visto que no processo de fabricação do rebolo, as superfícies ficam irregulares. No momento do aperto dos flanges, sem o rótulo pode ocorrer má fixação ou até mesmo a quebra do rebolo.

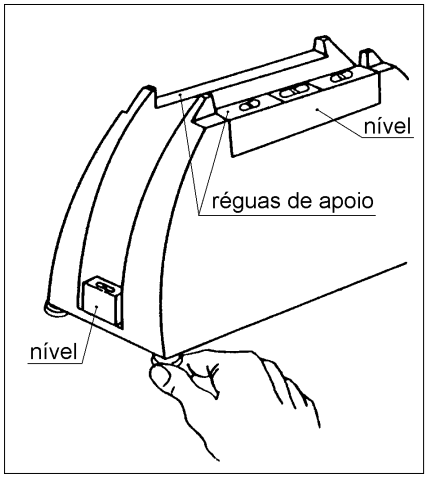
Em seguida, o rebolo deve ser montado sobre o flange. Coloca-se o flange superior de maneira que os dois flanges sejam unidos com parafusos de fixação.



O rebolo, assim preparado, é colocado sobre o eixo de balanceamento e o conjunto rebolo-eixo é assentado sobre as réguas do dispositivo de balanceamento.



O dispositivo de balanceamento deve estar nivelado, para que a inclinação das réguas de apoio não influencie no balanceamento do rebolo.

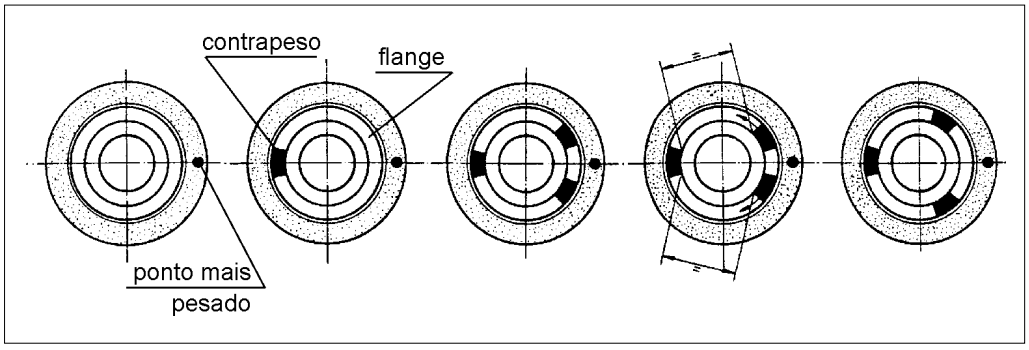


dispositivo de balanceamento

Os flanges possuem ranhuras onde são colocados contrapesos para balancear o rebolo. É como balancear a roda de um carro em que são colocados pequenos pesos.

Esses pequenos pesos podem ser movimentados dentro da ranhura. Se um lado do rebolo estiver mais pesado, ele vai girar ao se colocar o rebolo com o eixo de balanceamento sobre as réguas do dispositivo.

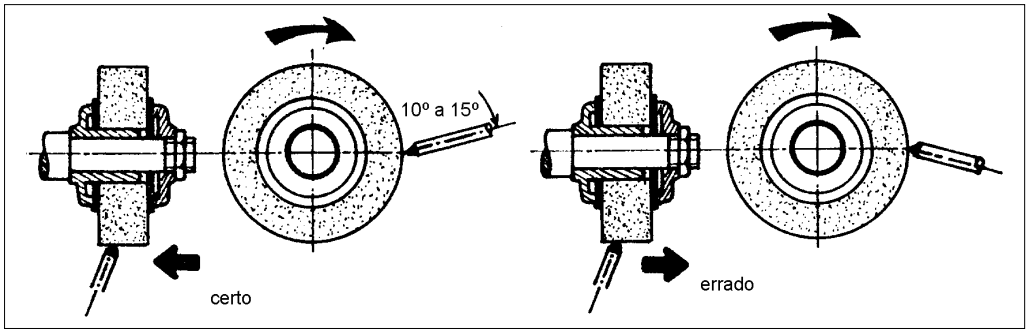
Movimentamos os três contrapesos a fim de equilibrá-los. Quando o peso estiver equilibrado, o rebolo ficará parado em três posições diferentes, a 120°, uma em relação à outra. Nesse momento, o balanceamento está concluído.



Antes de iniciar uma retificação de peças é necessário retificar o rebolo para melhorar as seguintes características: planicidade, concentricidade e superfície cortante. Esta operação de retificação do rebolo também é chamada **dressagem**.

O primeiro passo é fixar bem o rebolo no eixo da retificadora da máquina. Neste momento, deve-se observar também a folga **radial**, que não deve ultrapassar 0,005 mm, e a folga **axial,** a qual não deve ser maior que 0,02 mm. Em seguida, fixamos o diamante de retificação na mesa da retificadora, geralmente com uma placa magnética.

Liga-se o rebolo e faz-se com que ele tangencie o diamante. Nesse momento, é preciso ter muito cuidado, pois a posição do diamante em relação ao rebolo não deve permitir que o rebolo "puxe" o diamante para baixo de si. Caso contrário, isso pode provocar a quebra do rebolo e trazer riscos para o operador.



A dressagem consiste em passar o rebolo inúmeras vezes pelo diamante, com pequenas profundidades de corte e com movimentos lentos de avanços transversais da mesa. As profundidades são de aproximadamente 0,02 mm para o desbaste e 0,05 mm para o acabamento.

Para evitar aquecimento excessivo das peças submetidas à operação, deve-se usar fluido de corte em abundância sobre o diamante e o rebolo.

Dica tecnológica

Não ligue o refrigerante antes de ligar o rebolo para evitar que ele se encharque e prejudique o balanceamento.

Outro fator importante a ser considerado na preparação da retificadora consiste na determinação da velocidade de corte do rebolo e do movimento da máquina.

A velocidade de corte do rebolo é de grande importância e depende do tipo do aglomerante. Numa velocidade muito baixa, haverá desperdício de abrasivo e pouco rendimento do trabalho. Uma velocidade muito alta pode causar rompimento do rebolo.

Geralmente, as máquinas têm rotações fixas que correspondem à velocidade de corte ideal. De modo geral, na prática, são adotadas as seguintes velocidades, segundo o aglomerante:

AGLOMERANTE	VELOCIDADE DE CORTE
Vitrificado	até 33 m/s
Resina	até 45 m/s
Borracha	até 35 m/s
Metálico	até 30 a 35 m/s

Quanto à velocidade do rebolo, também deve ser considerado o seguinte:

- quanto mais alta a velocidade do rebolo em relação à velocidade da peça, menor deve ser o grau do aglomerante;
- os aglomerantes orgânicos (resinóide, borracha, goma-laca) devem ser empregados para velocidades mais altas.

Para manter um rebolo na velocidade periférica, e se sua máquina permitir, aumente progressivamente a rotação por minuto (rpm). Com isso você evita o desgaste excessivo do rebolo.

Deve-se empregar sempre a velocidade indicada pelo fabricante para cada tipo de rebolo.

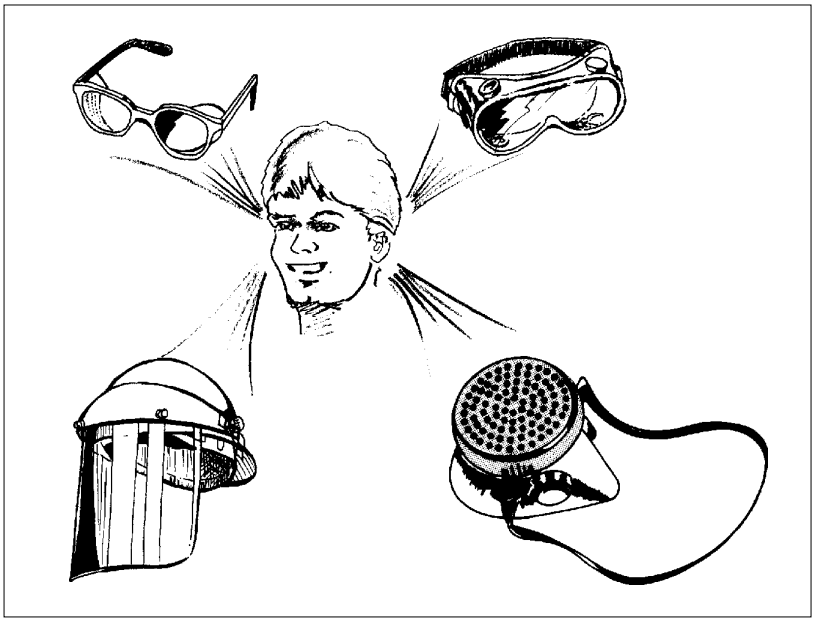
Prevenção de acidentes

Na usinagem por abrasão os acidentes são, em geral, causados pela quebra dos rebolos. Este fato se deve a várias causas: ocorrência de trincas durante o transporte ou armazenamento dos rebolos, montagens defeituosas; excesso de velocidade no trabalho, pressão demasiada em rebolo de pouca espessura, contato muito brusco do rebolo com a peça a retificar, uso do rebolo muito duro etc.

Por isso, são necessárias as seguintes medidas preventivas: antes de qualquer operação, verificar se o rebolo está em bom estado e se ele é adequado ao serviço a ser feito; limpar bem o rebolo e evitar choques e pressões excessivas sobre sua superfície para ele não estourar.

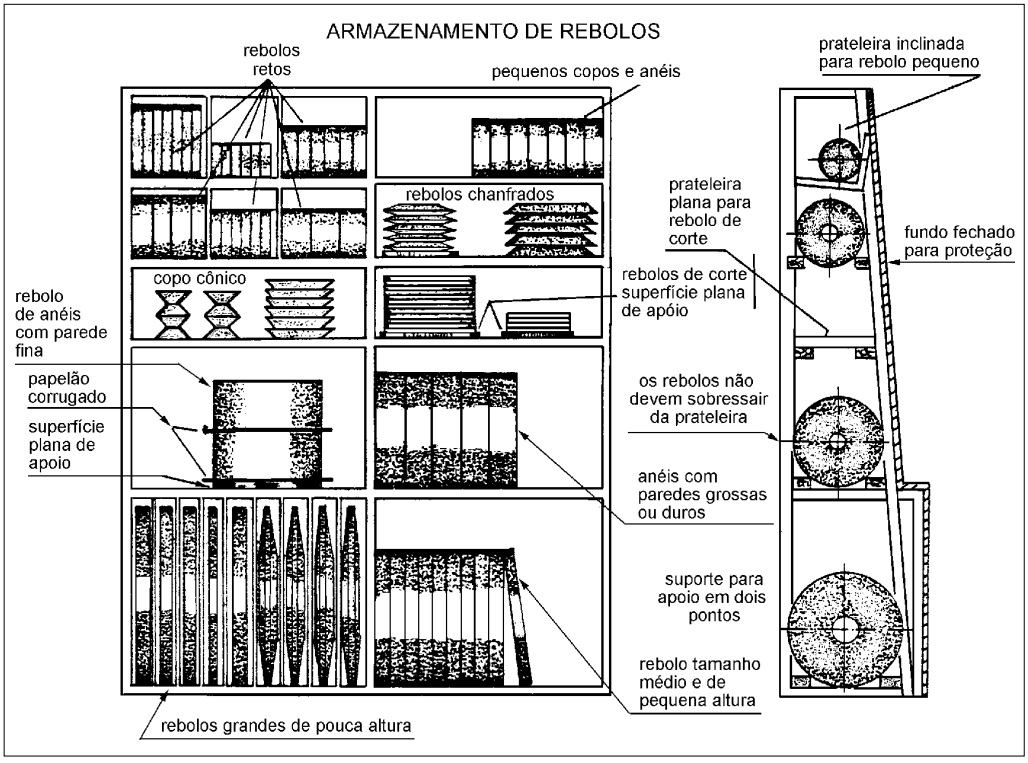
Para prevenir ferimentos, o operador deve observar os seguintes procedimentos:

- ao iniciar a rotação, ficar de lado e não em frente do rebolo;
- usar óculos de proteção;
- em caso de usinagem a seco, ajustar um coletor de aspiração de pó junto ao protetor e usar máscara contra pó, para evitar inalação de poeira, prejudicial ao aparelho respiratório;
- usar luvas durante trabalhos em que a peça for guiada manualmente. O atrito do rebolo produz aquecimento da peça que pode queimar a mão;
- com relação à máquina: dobrar o volante antes de ligar o movimento automático de avanço; não usar roupas soltas; no caso de aparelhagem elétrica, usar um estrado de madeira para isolar o operador.



continua

- não empilhar rebolos, pois eles podem empenar ou quebrar. Além disso, o armazenamento deve ser em local apropriado. Veja a figura.



Em caso de acidente, o operador deve proceder do seguinte modo:

- declarar o acidente, relatando como ele ocorreu, o movimento, o lugar e as testemunhas;
- somente permitir a retirada de ciscos dos olhos por pessoa competente, de preferência, médico;
- no caso de queimaduras, limpar a ferida com água oxigenada ou com álcool, fazer um penso úmido e consultar logo o médico.

Veja se aprendeu. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as apresentadas no gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta correta.

Exercício 2

A operação de retificação requer, em primeiro lugar, a seguinte providência:

a) ( ) retificar a peça;
b) ( ) preparar a máquina;
c) ( ) desbastar a peça;
d) ( ) preparar o diamante.

Exercício 3

A escolha do rebolo deve basear-se em especificações estabelecidas pelos:

a) ( ) vendedores;
b) ( ) clientes;
c) ( ) supervisores;
d) ( ) fabricantes.

Exercício 4

Os rebolos podem se apresentar nas seguintes formas:

a) ( ) retos, prato, anel, copo;
b) ( ) inclinados, anel, círculo, copo;
c) ( ) copo, verticais, círculo, aro;
d) ( ) prato, aro, retos, inclinados.

Exercício 5

O rebolo se constitui de:

a) ( ) pedra e cristal;
b) ( ) abrasivo e aglomerante;
c) ( ) pós e cola;
d) ( ) pedregulhos e goma.

Exercício 6

O material que une os grãos abrasivos denomina-se:

a) ( ) cola;
b) ( ) cera;
c) ( ) aglomerante;
d) ( ) goma.

Exercício 7

A preparação do rebolo consta de:

a) ( ) balanceamento, retificação ou dressagem;
b) ( ) tratamento térmico e torneamento;
c) ( ) fresagem e trefilação;
d) ( ) fixação e verificação dos grãos.

Exercício 8

Durante a retificação ou dressagem do rebolo, é necessário reduzir o aquecimento do diamante e do rebolo com abundante:

a) ( ) água;
b) ( ) óleo;
c) ( ) fluido de corte;
d) ( ) fluido de aquecimento.

Exercício 9

A velocidade de corte do rebolo deve ser adequada ao tipo de:

a) ( ) corte;
b) ( ) aglomerante;
c) ( ) abrasivo;
d) ( ) retificadora.

Exercício 10

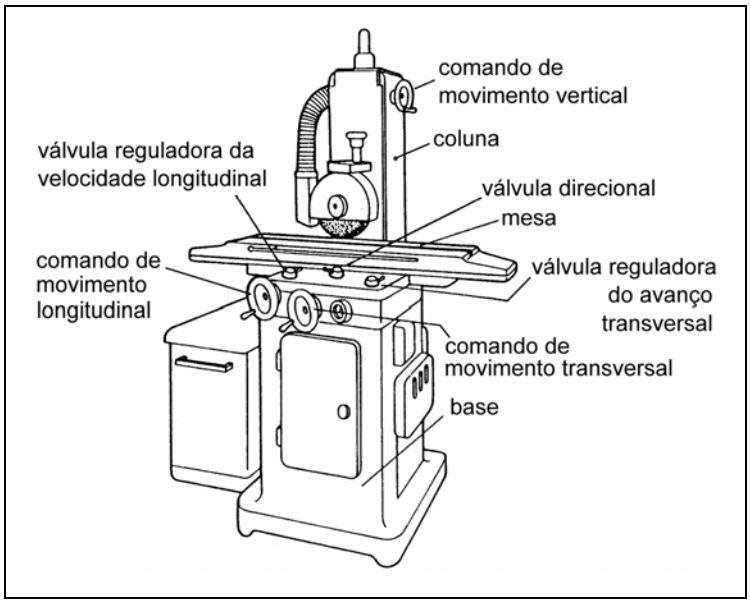
Para rebolo em alta velocidade, deve-se usar aglomerado:

a) ( ) artificial;
b) ( ) misto;
c) ( ) natural;
d) ( ) orgânico.

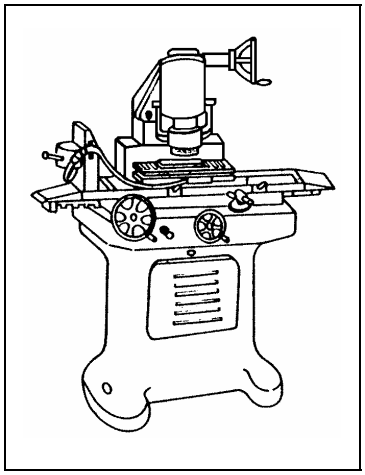
Vimos que, conforme as operações que fazem, as máquinas retificadoras podem ser classificadas em planas, cilíndricas universais e center less.

As retificadoras planas retificam peças com quaisquer tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

Conforme a posição do eixo porta-rebolo em relação à superfície da mesa da retificadora, a retificadora plana pode ser **tangencial de eixo horizontal** e de **topo de eixo vertical**.

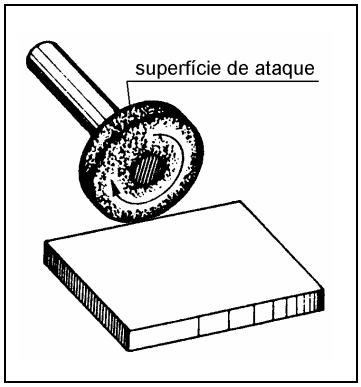


retificadora plana tangencial

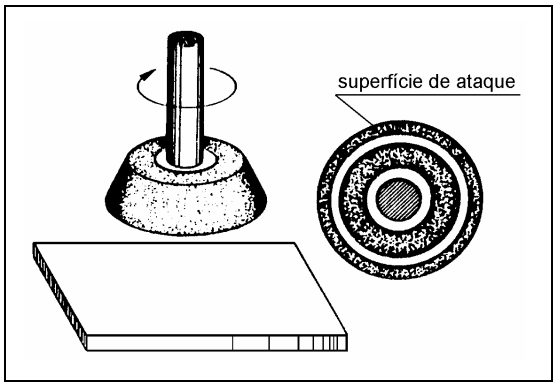

retificadora vertical

Na retificadora plana tangencial de eixo horizontal, utiliza-se um rebolo cilíndrico (tipo reto plano). Na retificadora vertical, utiliza-se um rebolo tipo copo ou anel, cuja superfície de corte tem, em sua

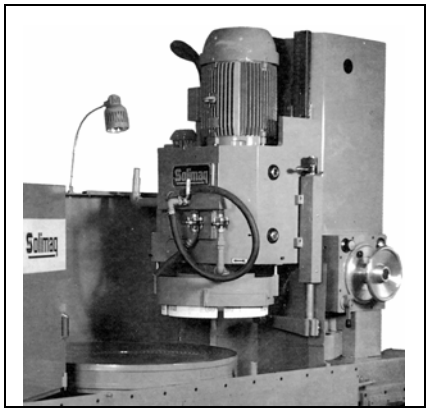
parte plana, a forma de coroa circular. Além disso, é também utilizado um rebolo de segmentos.



rebolo cilíndrico reto



rebolo tipo copo

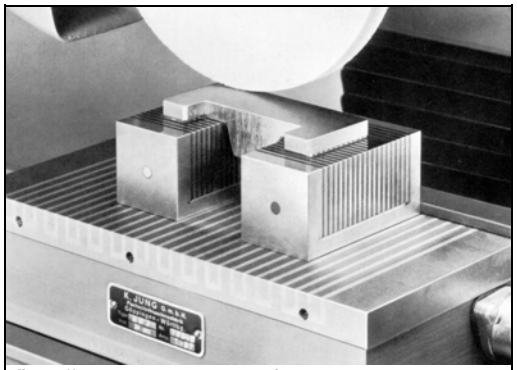


rebolo de segmento e mesa circular

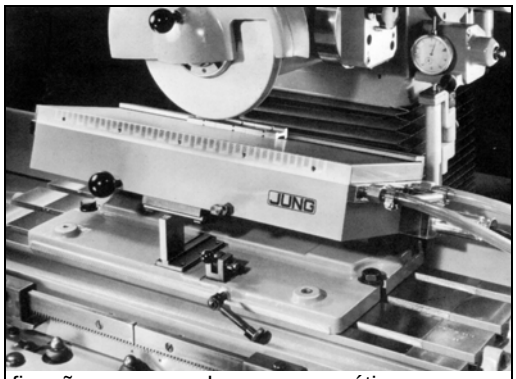
Após a preparação da máquina: limpeza, balanceamento, fixação do rebolo escolhido e dressagem, inicia-se a operação de retificação.

Esta aula visa mostrar como é feita a operação de retificação plana. Antes, porém, é preciso aprender como fixar a peça na retificadora plana.

Há várias formas de fixar a peça. Você pode fixá-la diretamente à mesa, ou pode fixá-la com transpassadores, no caso de peças de formato irregular. Veja ao lado.

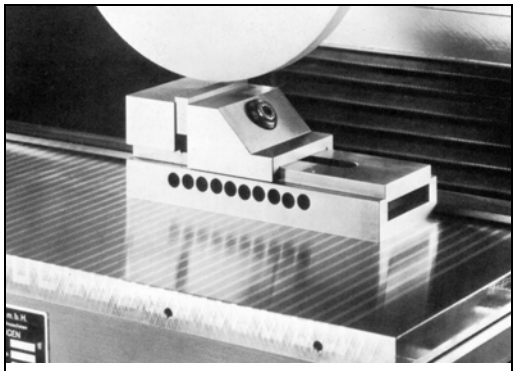

fixação com transpassadores

Outro modo de fixar a peça à mesa da retificadora é por meio de uma mesa de seno magnética. Em geral ela é utilizada na usinagem de superfícies inclinadas.



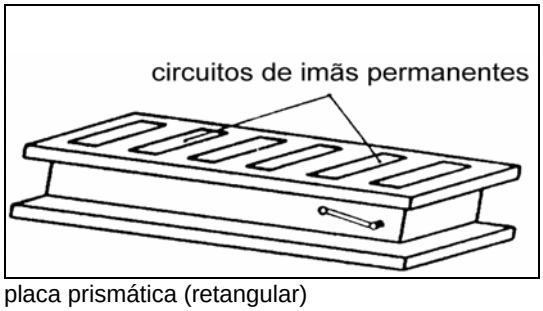
fixação em mesa de seno magnética

É possível também fazer a fixação da peça à mesa por meio de uma morsa retificada. Trata-se de uma forma de fixação utilizada na retificação de materiais não-ferrosos

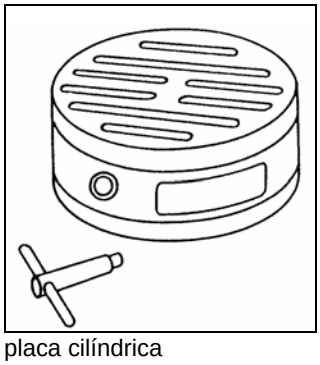

fixação em morsa

Além dessas, uma das fixações mais comuns é a feita por meio de placas magnéticas. Trata-se de uma fixação utilizada para retificar peças de materiais ferrosos, que têm a propriedade de serem atraídos por ímãs.

As placas magnéticas podem ter forma prismática (retangular) e cilíndrica.



placa prismática (retangular)


placa cilíndrica

Retificar superfície plana

Esta operação é feita com mais freqüência na retificadora plana tangencial que possibilita fino acabamento nas superfícies de peças como bases, réguas etc.

Como medida de segurança, o operador deve usar óculos de proteção e máscara contra pó, no caso de retificação a seco. Também, deve manter as mãos afastadas do rebolo em movimento para evitar acidentes.

Procedimentos

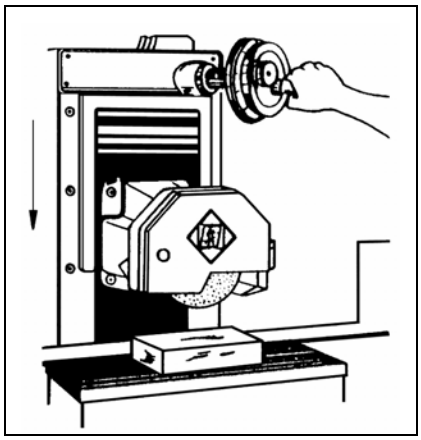
Vamos supor que você queira retificar um bloco de aço. Como proceder?

Lembre-se de que, em primeiro lugar, você deve preparar a máquina conforme foi explicado na aula anterior. Esse preparo consiste de: limpeza da máquina, balanceamento, fixação e dressagem do rebolo, previamente selecionado, na máquina.

Durante a dressagem ou retificação do rebolo, você deve ter o seguinte cuidado: o fluido de corte deve cobrir sempre a área de contato do diamante com o rebolo.

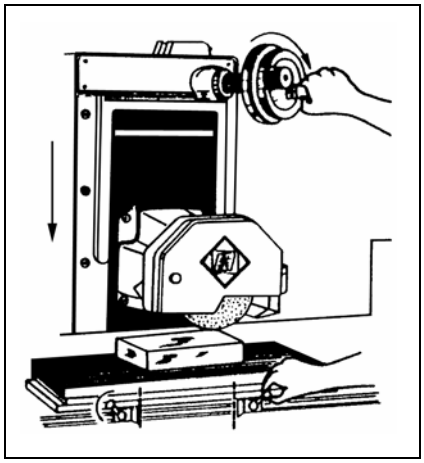
Após a retificação do rebolo, é necessário limpar a superfície da placa magnética com panos não felpudos, de modo a não deixar resíduos do pó abrasivo. Em seguida, coloque o bloco, suavemente, sobre a placa magnética. A superfície do bloco a ser retificada deve ficar para cima.

Fixe a peça na placa magnética e aproxime o rebolo da superfície a ser usinada, movimentando o cabeçote manualmente, mas sem tocar a peça, conforme figura



aproximação do rebolo à peça

A seguir, desloque a mesa manualmente até o rebolo sobrepassar a peça no seu comprimento total, numa distância aproximada de 10 mm de cada lado. Após isso, aperte firmemente os limitadores e ponha o rebolo em funcionamento, mantendo-se de lado para não se acidentar.



rebolo sobrepassando os extremos

Quando o rebolo entrar em funcionamento, acione o movimento da mesa de modo que o rebolo entre em contato com a parte mais alta da superfície do bloco. Leve o anel graduado a zero.

Desloque a mesa na posição transversal e longitudinal até que o bloco fique livre do rebolo.

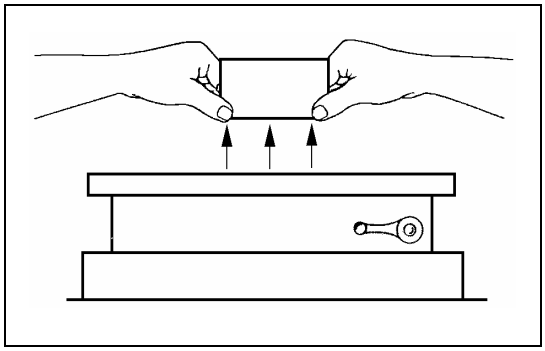
Dê a profundidade de corte e regule o valor do avanço transversal da mesa por passada. Esse valor depende da largura do rebolo.

Dica tecnológica

Na prática, usa-se 1/3 da largura do rebolo para a retificação de desbaste e 1/10 da largura do rebolo para retificação de acabamento.

Retifique a peça. Quando a superfície do bloco estiver com o acabamento desejado, desligue a máquina e retire o bloco para conferir as medidas. Mas tenha o cuidado de retirar o bloco só depois que o rebolo estiver **totalmente parado**.

Retire o bloco sem arrastá-lo sobre a placa magnética para que a superfície retificada e a mesa não sejam danificadas.



retirada do bloco retificado

Observação: Na retificação de peças de ferro fundido cinzento recomenda-se operação a seco.

Veja se aprendeu. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

Marque com **X** a única resposta correta.

1. Na retificadora plana tangencial de eixo horizontal, utiliza-se rebolo:

a) ( ) cônico;
b) ( ) triangular;
c) ( ) cilíndrico (tipo reto plano);
d) ( ) retangular;
e) ( ) tipo copo ou anel.

2. Na retificadora vertical, utiliza-se rebolo:

a) ( ) cilíndrico (tipo reto plano);
b) ( ) cônico;
c) ( ) circular;
d) ( ) tipo copo (anel) ou de segmentos;
e) ( ) triangular.

3. A preparação da máquina para retificação consta de:

a) ( ) limpeza, balanceamento e dressagem do rebolo;

b) ( ) especificação do rebolo;

c) ( ) fixação do rebolo no suporte;

d) ( ) testagem do rebolo.

4. A operação de retificar consta de atrito do rebolo na:

a) ( ) mesa da retificadora;

b) ( ) superfície da peça;

c) ( ) superfície da placa magnética;

d) ( ) estrutura da peça.

5. Para retificar uma superfície plana inclinada, de material ferroso, fixa-se a peça por meio de:

a) ( ) mesa de seno magnética;

b) ( ) placas magnéticas;

c) ( ) mesa da retificadora;

d) ( ) morsa retificada.

Gabarito

1. c

2. d

3. a

4. b

5. a

AULA

57

Retificação cilíndrica

A retificadora cilíndrica universal é uma máquina utilizada na retificação de todas as superfícies cilíndricas, externas ou internas de peças. Em alguns casos, essa máquina retifica, também, superfícies planas que precisam de faceamento.

Nesta aula, você vai aprender quais são os procedimentos para a retificação cilíndrica.

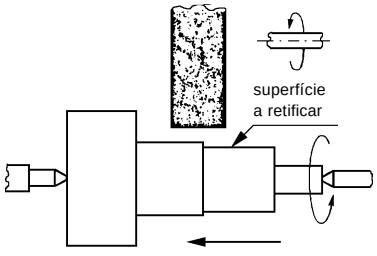
Nossa aula

Retificar superfície cilíndrica

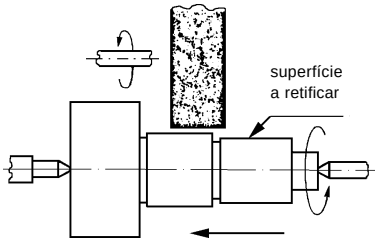
Essa operação tem a finalidade de dar fino acabamento a superfícies de peças cilíndricas, com exatidão de medidas.

O operador deve usar óculos de proteção e, no caso de retificar a seco, máscara contra pó. São medidas de segurança que protegem de possíveis acidentes.

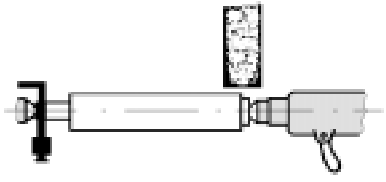
As superfícies cilíndricas externas que podem ser retificadas nesse tipo de máquina são ilustradas nas figuras, a seguir.



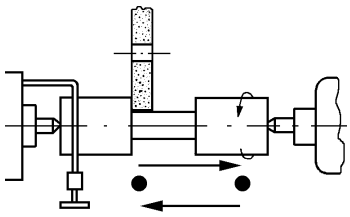
superfície cilíndrica escalonada sem canal de saída



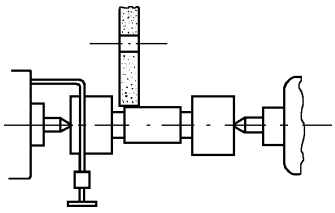
superfície cilíndrica escalonada com canal de saída



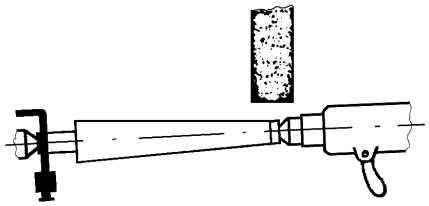
superfície cilíndrica passante



superfície cilíndrica com rebaixos sem saída



superfície cilíndrica com rebaixos com saída

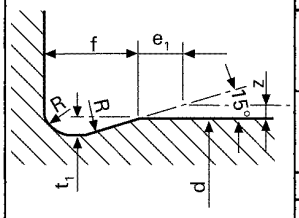


superfície cônica

Nas figuras anteriores, você deve ter observado que algumas peças apresentam canal para saída de rebolo. Esse canal pode ter várias formas, mas a norma DIN estabelece dois tipos básicos: **E** e **F**. Veja na tabela abaixo as dimensões desses canais.

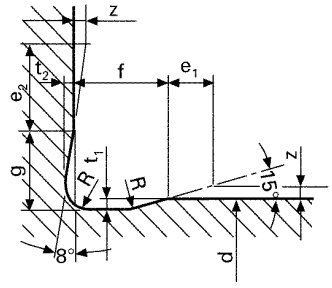
Rebaixo para saída do rebolo DIN 509

Tipo E



d acima	d até	Com maior resistência a fadiga	Com esforço usual	R	t_1 +0,1	f	g fd	t_2 0,03
			1,6	0,1	0,1	0,5	0,8	0,1
		Não reformáveis	1,6 3	0,2	0,1	1	0,9	0,1
			3 10	0,4	0,2	2	1,1	0,1
		Reformável	10 18	0,6	0,2	2	1,4	0,1
			18 80	0,6	0,3	2,5	2,1	0,2
			acima 80	1	0,4	4	3,2	0,3
18	50	Reformável		1	0,2	2,5	1,8	0,1
50	80			1,5	0,3	4	3,1	0,2
80	125			2,5	0,4	3	4,8	0,3
acima	125			4	0,5	7	6,4	0,3

Tipo F



Sobremetal	z	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	10
	G_1	0,37	0,56	0,75	0,93	1,12	1,49	1,87	2,24	2,61	2,99	3,36	3,73
	G_2	0,71	1,07	1,42	1,78	2,14	2,85	3,58	4,27	4,98	5,89	6,40	7,12

Representação no desenho

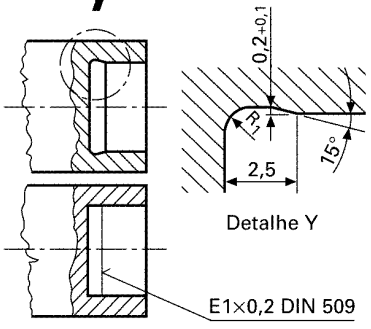
y

a) Representação com cotagem

ou

b) Representação simplificada

(Especificando R x t_1)



Detalhe Y

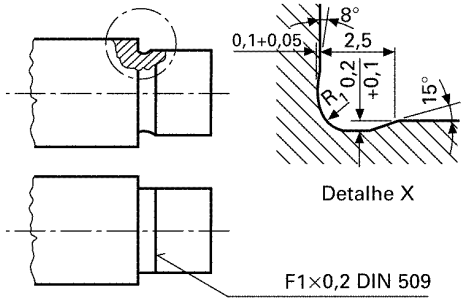
x

a) Representação com cotagem

ou

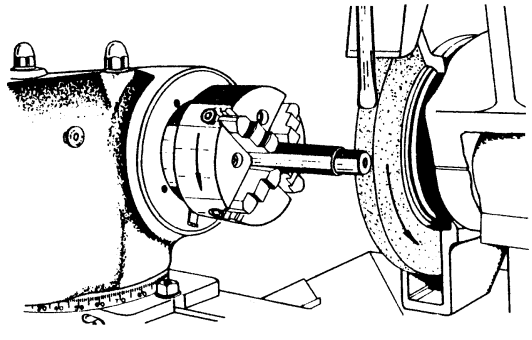
b) Representação simplificada

(Especificando R x t_1)

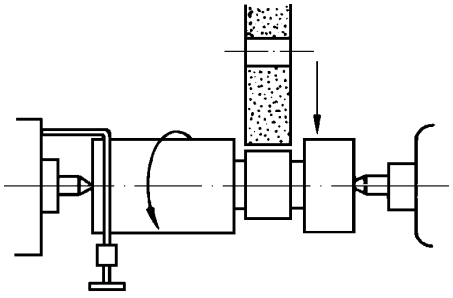


Detalhe X

Quanto à fixação da peça a ser retificada na máquina, ela pode ser:



em balanço (para peças de pequeno comprimento e que não podem ter furos de centro)



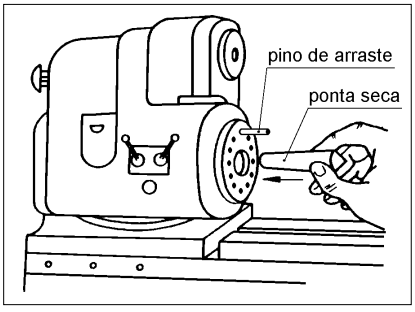
entre pontas com placa de arraste (para peças de grande comprimento, ou peças com rebaixos)

AULA

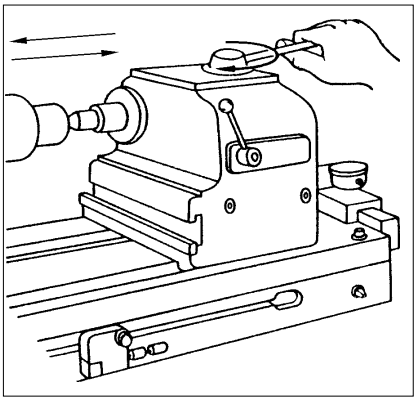
57

Vamos supor que você queira retificar um eixo cilíndrico de aço com superfície cilíndrica passante. Como você já viu em aulas anteriores, o primeiro passo deve ser a seleção, balanceamento e dressagem do rebolo.

Preparado o rebolo, você vai fixar a peça entre pontas. Para isso, monte a ponta "seca" no cabeçote porta-peças e o pino de arraste na placa lisa, conforme ilustra a figura.

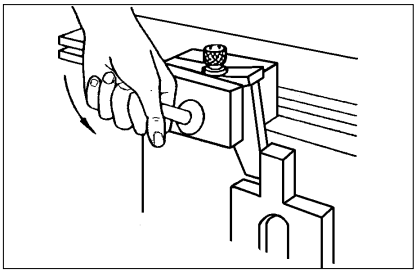


Em seguida, monte o cabeçote contraponta. Na montagem do contraponta sobre a mesa, verifique, antes, se a mesa e a base do dispositivo contraponta estão limpos. Essa limpeza é necessária para evitar desalinhamento da peça.



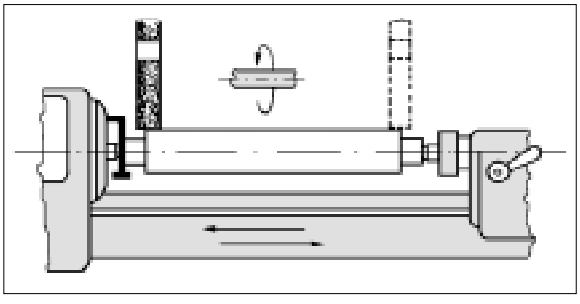
A seguir, fixe a peça entre pontas. Lubrifique com graxa os contatos do contraponta e da ponta com a peça para evitar grimpagem.

Depois, é preciso regular o curso do deslocamento longitudinal da mesa. A regulagem é feita por meio dos limitadores de curso da mesa e tem a finalidade de evitar que o rebolo bata no arrastador e no contraponta.



É preciso ter cuidado para que o rebolo não ultrapasse mais de 1/3 de sua largura nas extremidades do rebolo.

Esse procedimento pode ser seguido sem que o rebolo esteja em movimento.



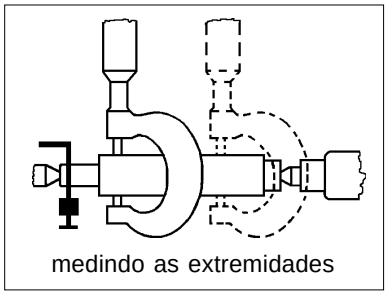
O passo seguinte consiste em regular o paralelismo da peça em relação ao rebolo. Para isso, você deve ligar o rebolo e o cabeçote porta-peças em movimento de rotação. Encoste o rebolo na peça cuidadosamente, zerando o anel graduado de penetração do rebolo.

Após esse passo, faça uma pequena penetração do rebolo e ligue o avanço transversal da mesa, dando tantos passes quanto forem necessários para limpar a superfície da peça.

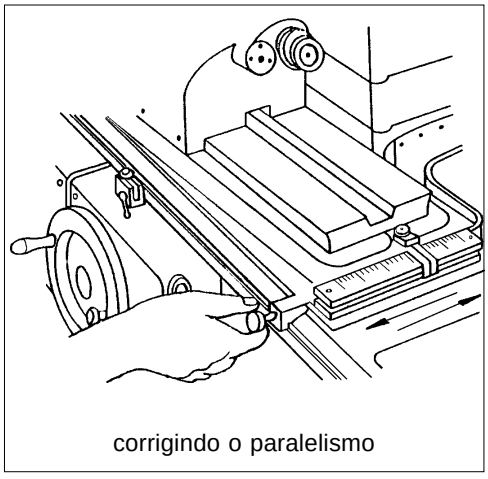
Dica tecnológica

Para observar melhor o movimento de contato do rebolo com a peça, passe uma camada fina de tinta de traçagem na peça.

Depois de limpar a superfície da peça (eixo), você vai medir suas duas extremidades para corrigir o paralelismo da peça.



medindo as extremidades



corrigindo o paralelismo

Após a correção do paralelismo do eixo, dê mais uma passada do rebolo no eixo, com corte de pequena profundidade. Meça o eixo novamente e verifique se o paralelismo foi corrigido. Se foi feita a correção, usine o eixo com passes sucessivos até que fique de acordo com a dimensão desejada.

Se você verificar que a correção não foi feita, faça-a novamente e repita os passes quantas vezes forem necessários.

Veja, agora, o que aprendeu. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta correta.

Exercício 1

As superfícies cilíndricas externas podem ser do seguinte tipo:

a) ( ) cônicas, com rebaixos flexíveis;
b) ( ) passantes, escalonadas com canal de saída e sem saída;
c) ( ) com rebaixos sem saída, recortada;
d) ( ) onduladas, curvas, cônicas;
e) ( ) planas, côncavas ou convexas.

Exercício 2

Peças de pequeno comprimento e que não podem ter furos de centro são fixadas em:

a) ( ) placa lisa;
b) ( ) placa e ponta;
c) ( ) entre pontas;
d) ( ) placas de arraste;
e) ( ) balanço.

Exercício 3

Peças de grande comprimento são fixadas em:

a) ( ) balanço;
b) ( ) entre pontas;
c) ( ) entre pontas com placa de arraste;
d) ( ) placa e ponta;
e) ( ) placa lisa.

Exercício 4

Para evitar grimpagem das peças, é preciso:

a) ( ) secar bem as peças;
b) ( ) lubrificar o contato das pontas com a peça;
c) ( ) limpar a mesa;
d) ( ) refrigerar as contrapontas;
e) ( ) evitar contato das peças.

Exercício 5

Depois de limpar a superfície do eixo usinado é preciso medir suas duas extremidades para verificar o seguinte:

a) ( ) a correção do paralelismo do eixo;
b) ( ) a rugosidade da peça;
c) ( ) o acabamento do eixo;
d) ( ) o comprimento do eixo;
e) ( ) a espessura do eixo.

AULA

58

Afiação de ferramentas

Após algum tempo de uso, as ferramentas de corte geralmente se desgastam, apresentando trincas ou deformações na forma e nas propriedades. Devido a este desgaste, as ferramentas ao serem colocadas em trabalho apresentam um rendimento muito ruim e geram problemas como: aquecimento excessivo, aumento do esforço de corte, o acabamento da peça fica ruim e ocorre o aumento do tempo de confecção.

Por esses motivos, as ferramentas precisam ser restauradas. As ferramentas de corte requerem, principalmente, afiação.

Em geral, as grandes indústrias têm um setor de afiação de ferramentas para restaurar o contorno e o perfil de corte das ferramentas desgastadas.

Essa operação é feita principalmente por meio de rebolos adequados a cada tipo de ferramenta em máquinas denominadas afiadoras de ferramentas.

Nesta aula, você vai estudar noções gerais de afiação de ferramentas de corte.

O que é afiação

Nossa aula

Afiação é a operação de dar forma e perfilar arestas de ferramentas novas (última fase do processo de fabricação) e de restaurar o corte ou o perfil de ferramentas desgastadas pelo uso.

A afiação das ferramentas é feita somente nas superfícies que determinam os ângulos de incidência, de cunha e saída. Os símbolos indicadores de cada um desses ângulos são os seguintes:

α – ângulo de incidência;

β – ângulo de cunha;

γ – ângulo de saída.

Classificação das ferramentas de corte

As ferramentas de corte são classificadas em: monocortantes e policortantes. As ferramentas monocortantes têm uma aresta de corte como as ferramentas do torno e da plaina. As ferramentas policortantes têm várias arestas de corte. São as fresas, as brocas, os escareadores e as serras.

No caso de afiação de ferramentas por meio de rebolos, é preciso especificar o rebolo adequado ao tipo de material de que foi feita a ferramenta. Geralmente, esses materiais são o aço-carbono, o aço rápido, o metal duro e o sinterizado especial.

O **aço-carbono** é usado em máquinas com baixa velocidade de corte, tem baixa dureza e perde rapidamente o poder de corte.

O **aço rápido** é resistente ao calor e ao desgaste. Antes do aparecimento dos sinterizados, era considerado o material mais adequado para fabricação de ferramentas.

O **metal duro** é obtido por processo de sinterização. Ele permite a fabricação das ferramentas adequadas a trabalhos em alta velocidade, uma vez que resiste à temperaturas de até 900°C

O **sinterizado especial** é a última geração de material utilizado para a fabricação de ferramentas. Ele está classificado em dois grupos: pastilhas cerâmicas e superabrasivos sinterizados.

Especificação do rebolo (quanto ao material da ferramenta a afiar)

Para o aço-carbono e o aço rápido, podemos utilizar o rebolo de óxido de alumínio, para fazer a afiação.

Para o metal duro, devemos utilizar o rebolo de carboneto de silício. É aconselhável o uso de rebolos de diamante para fazer a afiação, a qual pode ser manual ou por meio de máquinas afiadoras.

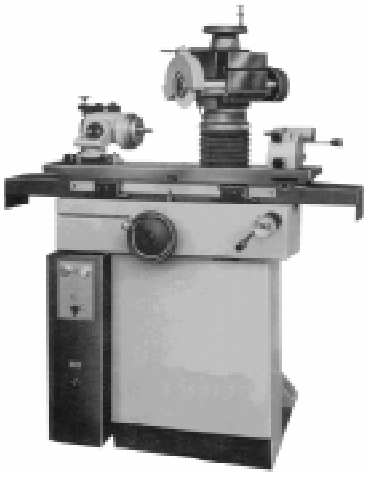
A afiação

A afiação das ferramentas monocortantes (torno, plaina) pode ser feita manualmente ou em máquinas. Quando manual, o resultado depende da habilidade do operador.

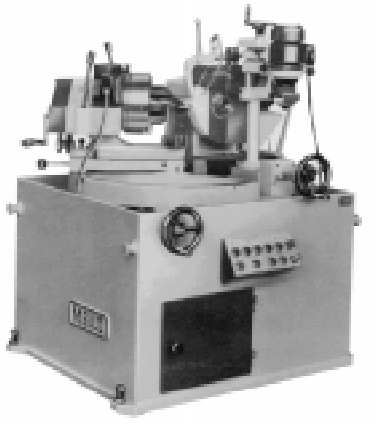
As afiadoras dispõem de suportes orientáveis de ângulos, de modo a posicionar a face da aresta a retificar segundo uma inclinação justa em relação à superfície do rebolo. Deve-se movimentar a ferramenta sobre a superfície do rebolo para não desgastar o rebolo de forma irregular e reduzir, também, a possibilidade de aquecimento da aresta de corte da ferramenta.

As ferramentas policortantes são afiadas em máquinas especiais, sendo impossível afiá-las manualmente. Nessas máquinas é possível afiar todo tipo de fresas: cilíndricas, angulares, com dentes postiços etc.

Brocas helicoidais são afiadas por uma máquina especial. A afiação é necessária para que a broca mantenha um bom poder de corte do material e para que suas arestas ou fios cortantes fiquem simétricos em relação ao eixo da broca.



afiadora de brocas



afiadora de ferramentas

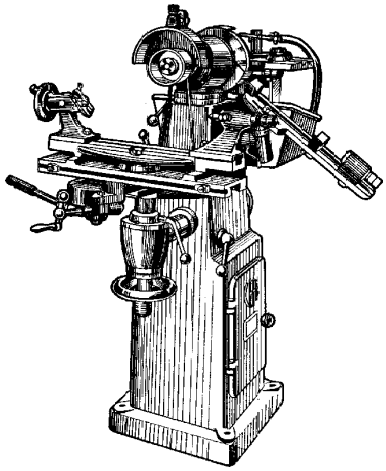
Às vezes, é necessário afiar ferramentas de corte com três tipos de operações: desbaste, semi-acabamento e acabamento, utilizando-se rebolos diferentes em cada operação.

No caso, por exemplo, de ferramentas lascadas, muito danificadas ou na fabricação das ferramentas, elas devem passar pela operação de desbaste. São desbastados os ângulos de cunha, ângulos laterais, ângulos de incidência e do raio de ponta.

Quando as ferramentas não estão lascadas, não é necessária a operação de desbaste. É suficiente uma operação de semi-acabamento ou de simples acabamento nas arestas cortantes.

Seguem ilustrações de afiadoras.

afiadora para ferramentas de metal duro



afiadora universal

AULA

58

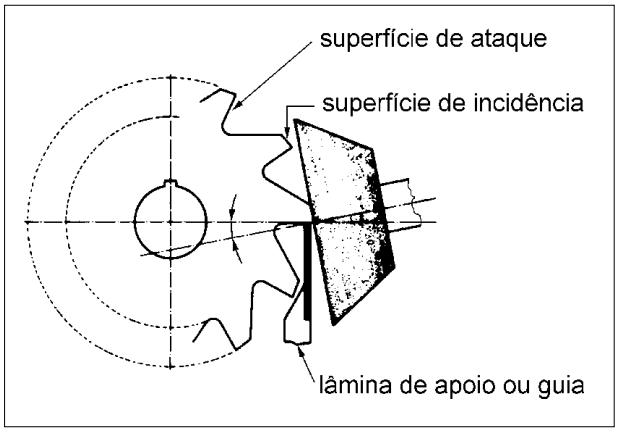
Operação de afiar

Vamos supor que você queira apenas reavivar arestas cortantes de uma ferramenta. Nesse caso, você poderá fazer apenas uma afiação manual utilizando esmeril ou uma pedra abrasiva.

Vamos supor que você precise afiar fresas por meio de rebolo.

Para essa operação, é preciso levar em conta que cada dente da fresa é limitado por duas superfícies ativas: uma de saída e uma de incidência. O dente da fresa deve se manter numa mesma posição em relação ao rebolo.

Durante a afiação, a mesa é acionada pelo operador com movimentos rápidos de vaivém. A fresa deve ser mantida constantemente apoiada na guia da máquina afiadora.



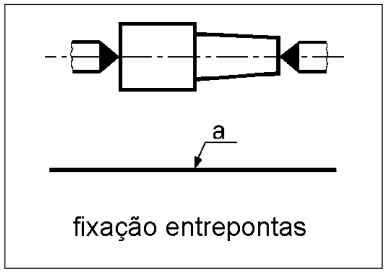
Os processos de afiação variam de acordo com o tipo de dentes das fresas, ou seja: retos, helicoidais e com perfil constante.

A afiação consta dos seguintes procedimentos:

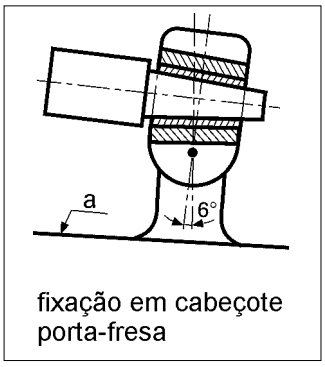
Fixação das fresas na máquina de afiar

Para fixar as fresas, você precisa considerar o seguinte:

- as fresas com haste são em geral mantidas entre pontas, o que permite obter uma concentricidade perfeita. O eixo da fresa deve estar em posição paralela à mesa.

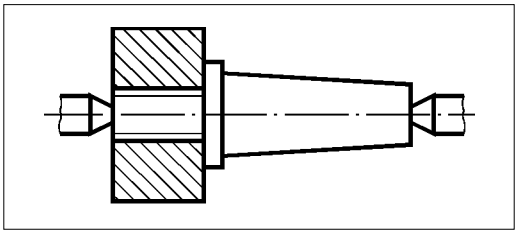


- as fresas de topo são mantidas, em geral, num cabeçote porta-fresa inclinado, com um ângulo de incidência de 6°, aproximadamente, o qual varia de acordo com o tipo de fresa: H, N e W. Um jogo de adaptadores cônicos permite a fixação das diversas hastes cônicas.

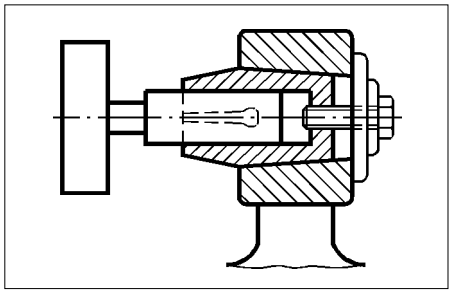


fixação em cabeçote porta-fresa

- as fresas com um furo roscado são atarraxadas num mandril que pode ser mantido entre pontas ou montado sobre o cabeçote porta-fresa.

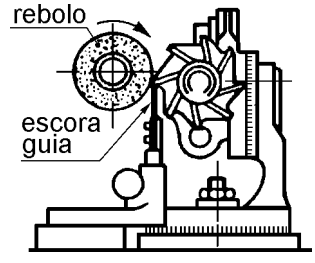


- as fresas com haste cilíndrica podem ser afiadas entre pontas ou fixadas no cabeçote porta-fresa por meio de pinças cônicas.



Regulagem da máquina

Vamos supor que você vai afiar a parte externa da fresa usando um rebolo reto plano.



regulagem do rebolo

Coloque a extremidade da escora-guia numa das seguintes posições:

- horizontal – para fresas com dentes retos;
- inclinada – para fresas com dentes helicoidais.

Apóie o dente da fresa na escora-guia. Em seguida coloque, paralelamente, o eixo porta-rebolo e o eixo porta-fresa num mesmo plano horizontal. Depois faça descer a fresa e aproxime um de seus dentes ao rebolo (com diâmetro adequado ao dente).

Operação de afiar

Aproxime a fresa alguns milímetros do rebolo e verifique se ele gira livremente, antes de pôr o motor em movimento.

Aproxime o carro com cuidado até pôr o rebolo em contato com o dente da fresa. Movimente a mesa com uma das mãos num movimento de vaivém bastante rápido. Ao mesmo tempo, guie a fresa com a outra mão.

Afaste a fresa, lateralmente, do rebolo e faça um passe de 0,02 mm (p = 0,02). Vá afiando dente por dente, mantendo a mesma referência para todos os dentes.

Depois de uma volta completa, avance o carro para um novo passe de 0,02 mm e continue a afiação até compensar todo o desgaste da fresa.

Para o acabamento, faça passes de 0,01 mm. Após terminar a afiação, retire as rebarbas do gume com uma pedra abrasiva.

Veja agora o que você aprendeu. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta correta.

Exercício 1

Para restaurar o contorno e o perfil de corte de ferramentas desgastadas, essas ferramentas devem ser:

a) ( ) limadas;
b) ( ) serradas;
c) ( ) afiadas;
d) ( ) fresadas.

Exercício 2

Para reavivar cantos de arestas, basta afiá-los manualmente utilizando:

a) ( ) esmeril ou pedra abrasiva;
b) ( ) lixa ou pedra pome;
c) ( ) rebolo ou lixa;
d) ( ) esmeril ou lima.

Exercício 3

Ferramentas monocortantes (de corte único) devem ser afiadas do seguinte modo:

a) ( ) manualmente ou com afiadora;
b) ( ) com pedra abrasiva;
c) ( ) com politriz;
d) ( ) com lixa grossa.

Exercício 4

Para afiar uma ferramenta com rebolo, é preciso escolher o rebolo adequado ao:

a) ( ) formato da ferramenta;
b) ( ) tipo de material da ferramenta;
c) ( ) tipo de afiadora;
d) ( ) tamanho da ferramenta.

Exercício 5

Fresas, brocas, escareadores e serras são classificados como ferramentas:

a) ( ) monocortantes;
b) ( ) policortantes;
c) ( ) quadricortantes;
d) ( ) tricortantes.

Exercício 6

Na afiação, com uma fresa na afiadora, a mesa deve avançar:

a) ( ) 0,05 mm;
b) ( ) 0,04 mm;
c) ( ) 0,02 mm;
d) ( ) 0,03 mm.

Exercício 7

Após a afiação da fresa, convém remover rebarbas do gume por meio de:

a) ( ) pinças;
b) ( ) alicate;
c) ( ) pedra abrasiva;
d) ( ) repasse do rebolo.

AULA

59

Brunimento, lapidação, polimento

Apesar de todos os cuidados, as peças usinadas e mesmo as de acabamento em máquina, como é o caso da retificação, apresentam sulcos ou "riscos" mais ou menos visíveis, decorrentes das arestas das ferramentas de corte ou das pontas agudas dos grãos abrasivos.

Mesmo em superfícies finamente acabadas pela retificação, uma lente de aumento mostra irregularidade na superfície das peças.

Com a finalidade de eliminar o mais possível essas irregularidades e de deixar as superfícies com dimensões exatas e, ainda, melhorar o aspecto visual das peças, existem operações especiais que serão vistas nestas duas últimas aulas: brunimento, polimento, lapidação, superacabamento e rodagem. Normalmente, essas operações são utilizadas após os processos de usinagem, como tornear, furar, fresar etc.

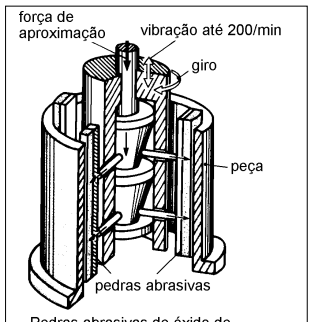
Nesta aula, vamos estudar as operações de brunimento, lapidação e polimento.

Nossa aula

Brunimento

O brunimento é um processo mecânico de usinagem por abrasão, empregado no acabamento de peças. Durante o processo, os grãos ativos do brunidor entram em contato com a superfície da peça. Esta gira lentamente e o brunidor desloca-se ao longo da geratriz da superfície de revolução com movimentos alternativos de pouca amplitude e freqüência relativamente grande.

Na maioria dos casos, o brunimento é feito com uma ferramenta especial de retificação, constituída de segmentos de material abrasivo, montados em grupo. A figura, a seguir, ilustra essa ferramenta, denominada **brunidor**.

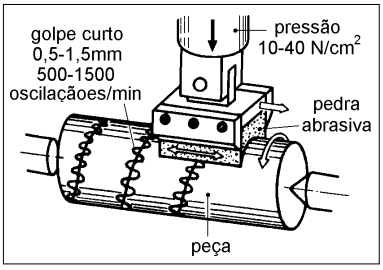


brunidor

Ao girar, o brunidor faz um movimento vertical oscilante de subir e descer. A diferença entre retificação e brunimento consiste na velocidade de rotação. No brunimento ela já é bem menor e o trabalho é feito com pressão maior, de 3 a 8 kgf/cm^3, ou seja, de 30 a 80N/cm^2.

A operação de brunimento é realizada em cilindros de motores, alojamento de êmbolos hidráulicos, canos de canhão etc. Durante o giro e avanço, o brunidor é sempre guiado pela peça.

O brunimento externo é aplicado na usinagem de eixos e árvores.



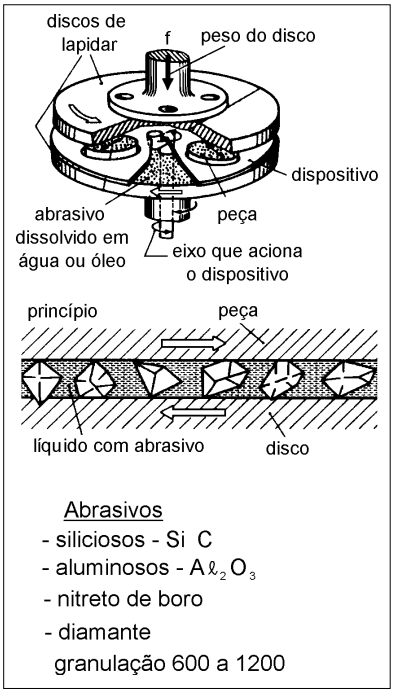
brunimento

Lapidação

Lapidar é retificar superfícies de peças com elevado grau de acabamento.

Antes da lapidação, coloca-se um líquido, água ou óleo, sobre uma placa metálica. Em seguida, espalha-se pó abrasivo sobre o líquido.

A seguir, passa-se a superfície da peça a lapidar sobre a placa preparada, imprimindo-lhe movimentos circulares, conforme ilustra a figura.



lapidação

Geralmente, usa-se o processo de lapidação em blocos-padrão, pinos e furos.

Existem machos especiais para lapidar. Eles possuem ranhuras e dispositivos de formas variadas que servem para recolher o excesso de pó abrasivo.

Quanto mais duro for o material da peça a ser lapidada, maior deve ser a dureza do grão abrasivo.

Polimento

Polir é um processo mecânico de acabamento de uma peça que visa tornar sua superfície lisa e de aparência espelhada. O polimento, portanto, propicia boa qualidade de acabamento de um produto final.

Numa superfície cortada com ferramenta podemos perceber as marcas de usinagem sob a forma de estrias. Essas estrias, que são formadas pela ferramenta de corte, convencional ou por rebolo, recebem o nome de rugosidades que podem ser medidas e consideradas em termos de qualidade de acabamento.

A operação de polir tem as seguintes finalidades:

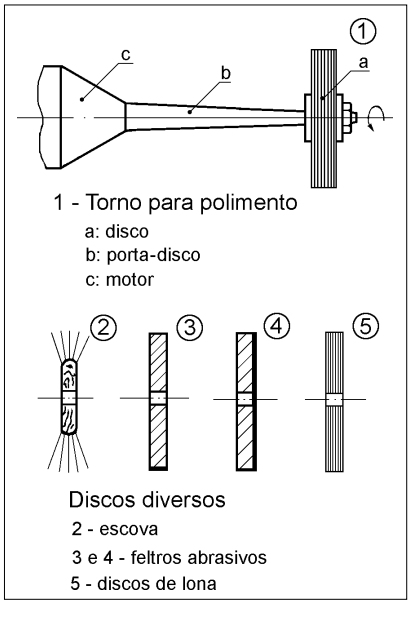
- dar, a qualquer superfície, acabamento de boa apresentação, espelhado, sem que a superfície precise ter precisão de formas e de medidas;
- criar uma camada superficial de proteção da peça, impedindo a ação corrosiva de ácido, de certos sais químicos, ferrugem etc.;
- preparar peças a serem submetidas a operações de revestimento superficial por galvanoplastia, como niquelagem e cromagem. Depois dessas operações, melhorar o aspecto da superfície, dando às peças niqueladas ou cromadas um brilho mais vivo.

Geralmente, o polimento é feito por uma ferramenta na for ma de um disco ou conjunto de discos, revestidos com substâncias abrasivas. Podem também ser utilizadas lixas ou bastões abrasivos.

O disco abrasivo pode ser de madeira, feltro ou tecido. Estes materiais impregnados de pasta ou pó abrasivo agem como o rebolo, por meio de suas superfícies cilíndricas ou planas.

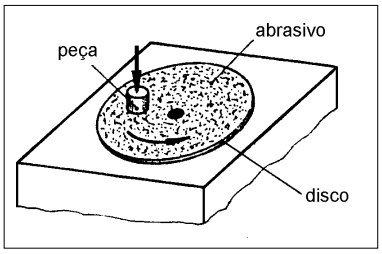
Os discos abrasivos são feitos de material semi-rígido (feltro aglomerado) ou muito flexível (flanela). O abrasivo que os recobre é colado ou fixado com adesivo.

O polimento pode ser radial e axial. No polimento **radial** apóia-se o disco abrasivo sobre a peça a ser polida e o disco gira em grande velocidade: aproximadamente, 45 a 50 m/s ou 2700 a 3000 m/min.



Nesse contato, a superfície da peça vai se desgastando até ficar homogênea e lisa.

No polimento **axial**, o disco abrasivo gira sobre um eixo, em contato com a superfície a ser polida. Neste caso, o disco abrasivo acompanha a superfície da peça por movimentos de plasticidade ou elasticidade.



Durante o contato da ferramenta com a peça, a superfície desta é desgastada e vai sendo polida pela ferramenta, de acordo com a granulação abrasiva.

Uma superfície de exatidão dimensional é sempre **polida**, o que se obtém por retificação, rodagem e superacabamento. Por exemplo, o bloco-padrão.

Outra aplicação do polimento é na confecção de moldes plásticos.

Também pode ser polida qualquer superfície que não necessite de exatidão dimensional. Por exemplo: punho de manivela, volante de comando, que posteriormente são cromados.

Polimento manual

O polimento manual é realizado com lixas, pó ou bastão abrasivos que possuem granulação finíssima. Este processo é muito empregado na confecção de moldes plásticos. Os moldes plásticos têm cavidades que moldam a peça que se deseja produzir. Para essa peça apresentar uma superfície lisa, a cavidade de injeção deve ser polida tanto para atender a este primeiro caso como para facilitar o fluxo de plástico ou material a ser injetado no molde.

Por ser um processo manual, esse polimento requer uma dedicação muito grande do polidor, além de um senso crítico de qualidade, pois depende dele boa parte da qualidade do produto final.

Agora, veja o que você aprendeu. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta correta.

Exercício 1

Brunir, polir, lapidar são operações de:

a) ( ) afiação;
b) ( ) acabamento;
c) ( ) ajuste;
d) ( ) fresamento;
e) ( ) retificação.

Exercício 2

O que diferencia brunimento de retificação é:

a) ( ) formas de corte;
b) ( ) movimento da mesa;
c) ( ) grau de rugosidade;
d) ( ) nível de espessura;
e) ( ) velocidade de rotação.

Exercício 3

Para dar acabamento em cilindros de motores, é recomendável:

a) ( ) brunimento;
b) ( ) lapidação;
c) ( ) retificação;
d) ( ) polimento;
e) ( ) lixamento.

Exercício 4

Uma superfície de com exatidão dimensional é sempre:

a) ( ) brunida;
b) ( ) lapidada;
c) ( ) lixada;
d) ( ) rodada;
e) ( ) polida.

Exercício 5

Para dar acabamento em blocos-padrão, a operação adequada denomina-se:

a) ( ) lapidação;
b) ( ) brunimento;
c) ( ) torneamento;
d) ( ) retificação;
e) ( ) fresagem.

AULA

60

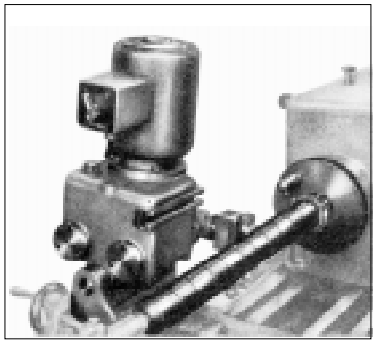
Superacabamento e rodagem

Na aula anterior, você viu que, em muitos casos, as superfícies de peças devem ser praticamente perfeitas, com exatidão dimensional e acabamento superficial excelente. Portanto, essas peças necessitam de acabamento especial que pode ser obtido por diversos processos.

Desses processos, você estudou brunimento, polimento e lapidação. Nesta aula, veremos os processos de superacabamento e rodagem.

Superacabamento

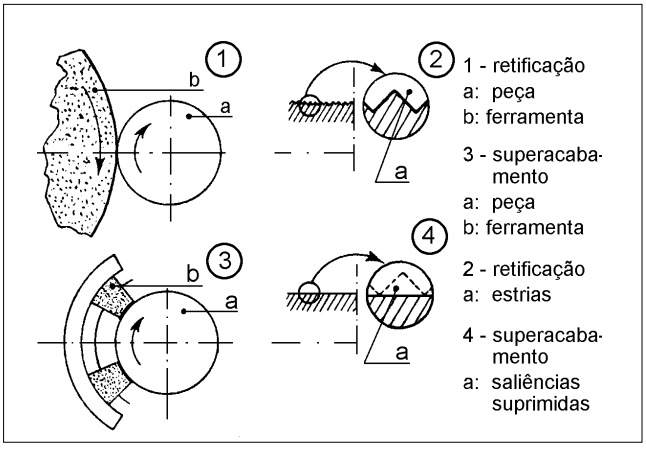
O superacabamento é uma operação feita em peças, cuja superfície apresenta defeitos, decorrentes do processo de retificação que precede a operação. Alguns defeitos têm a forma de riscos e estrias e são causados pelos grãos abrasivos. Outros defeitos, como a formação de facetas, são devidos aos efeitos de vibrações.



dispositivo para superacabamento

A operação de superacabamento corrige esses defeitos. Com ela, o coeficiente de atrito entre as superfícies é diminuído e a resistência da superfície ao desgaste é aumentada. Ainda, a ação das pedras abrasivas retira a formação de facetas.

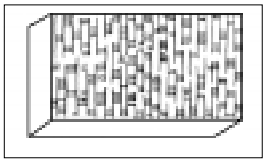
As facetas são microfaces que se formam na superfície da peça durante a retificação. Elas são provocadas pelo desbalanceamento do rebolo ou por folgas no eixo.



dispositivo para superacabamento

Nossa aula

Rebolo muito duro ou com granulação muito fina tende a ficar empastado e por isso favorece a ocorrência do defeito. Finalmente, o mau estado do mecanismo de movimentação da mesa pode também causar o mesmo defeito. Veja figura ao lado.


facetas

A superfície superacabada deve ficar bem lisa e com aparência de um espelho fosco. A diferença entre superacabamento e retificação está no movimento de corte do abrasivo.

Na retificação, o movimento de corte é dado pelo rebolo, o qual tem movimento de rotação e gira a uma velocidade de corte de aproximadamente 1800 m/min.

Na operação de superacabamento, o movimento de corte é efetuado pela pedra ou bloco abrasivo. A pedra abrasiva trabalha com movimentos retilíneos de vaivém, numa cadência de 1.000 a 2.000 golpes por minuto e amplitude de 1 a 5 mm. Enquanto a pedra abrasiva realiza esses movimentos, a peça gira com velocidade de corte de aproximadamente 20 m/min.

A espessura do sobremetal retirado no superacabamento varia de 0,001 a 0,01 e depende dos seguintes fatores:

- pressão exercida sobre a pedra abrasiva em kgf/cm² ou Pa;
- estado da superfície ou grau de rugosidade, antes da operação;
- natureza da pedra abasiva (grão e dureza).

Recordar é aprender
1 kgf/cm² = 100kPa

Na operação de superacabamento, a pedra abrasiva é colocada em posição sobre a peça, com pressão constante de 1 a 5 kgf/cm2 (100 a 500kPa), depois de ter sido perfilada por uma ferrramenta diamantada.

Em seguida inicia-se a operação, com a peça girando a uma velocidade de corte de 20 m/min e a pedra abrasiva vibrando. Essa vibração dá-se ao longo da geratriz do cilindro que está sendo submetido ao superacabamento. A operação de superacabmento pode também ocorrer com a peça sendo deslocada ao longo da pedra abrasiva, tal como na fabricação de rolos para rolamentos.

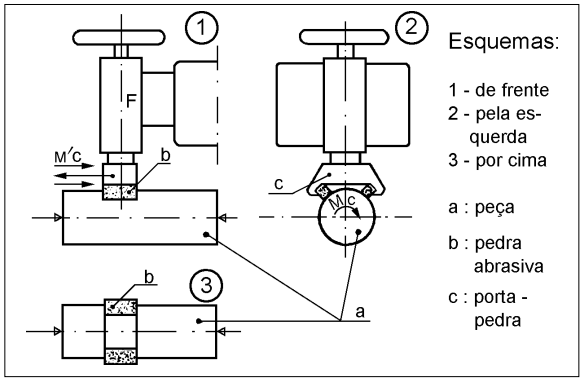
Durante a operação, tanto a peça quanto a pedra abrasiva devem ser constantemente lubrificadas com uma mistura de 80% de querosene e 20% de óleo. Também podem ser usados fluidos de corte, encontrados no comércio.

Quando a rugosidade chega a níveis satisfatórios, aumenta a superfície de contato entre a pedra abrasiva e a peça. Isto faz com que a pressão real em cada ponto de contato da pedra abrasiva com a peça seja insuficiente para retirar material. Neste momento termina a operação.

A operação do superacabamento é indicada nos seguintes casos:

- nos ajustes deslizantes ou giratórios de peças de alta precisão;
- na melhoria de tolerância de forma;
- na diminuição da rugosidade.

Para dar superacabamento em séries pequenas de peças, pode-se usar um dispositivo como o da figura ao lado, que pode ser adaptado a um torno.



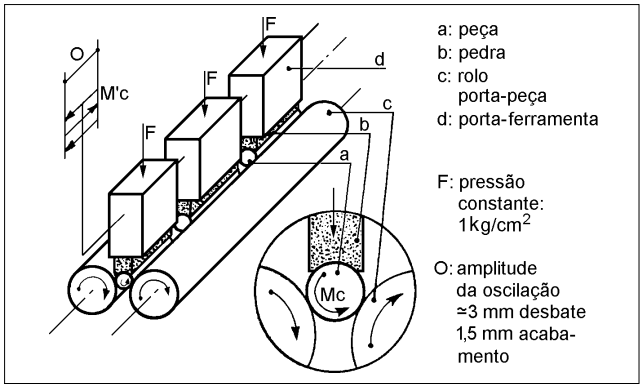
dispositivo para superacabamento cilíndrico

O superacabamento de superfícies cilíndricas externas entre pontas é feito em uma máquina semelhante à máquina de retificação entre pontas. O suporte dos rebolos de retificar é substituído pelo suporte das pedras abrasivas de superacabamento.

Essa máquina é utilizada no superacabamento de virabrequins, eixos de comando etc.

Existem também outros tipos de máquinas de superacabamento, que são usadas para o acabamento de:

- superfícies cilíndricas externas sem centro. Neste tipo de máquina, a peça é suportada e arrastada por dois cilindros. Trata-se de uma máquina usada para grandes produções, como a fabricação de rolos de rolamentos;



máquina de superacabamento sem centro

- superfícies planas;
- superfícies cilíndricas internas.

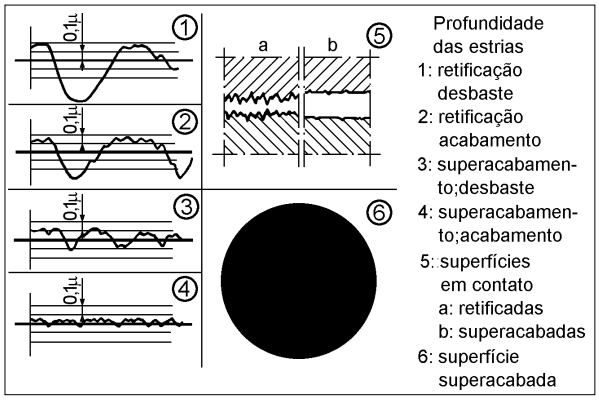
A operação de superacabamento deve ser controlada antes, durante e depois:

– *antes,* para verificar na peça a correção geométrica das superfícies a usinar a existência de sobremetal necessário, o qual deve ser geralmente entre 4 a 5 µm;

– *durante,* para verificar o desenvolvimento normal da ação do abrasivo, que deve ter a duração regulada segundo os limites de tolerância determinados;

– *depois,* para verificar na peça as características obtidas.

medição do estado da superfície



As características da peça são :

- geométricas, que dizem respeito às dimensões e tolerâncias de forma;
- físicas, relativas principalmente à rugosidade da superfície;
- químicas, que se referem à constituição da superfície do metal.

Rodagem

A operação de rodagem permite melhorar a exatidão dimensional, o acabamento superficial e as tolerâncias de forma e posição de superfícies retificadas. Ela é muito usada em vedações de válvulas e suas sedes, acabamento dos contatos de micrômetros, acabamento do fio do esquadro de luz e réguas de luz.

Com a operação de rodagem são executados trabalhos em superfícies cilíndricas internas, externas e superfícies planas externas, tanto pelo processo manual quanto por meio de máquinas especiais.

No processo de rodagem, os abrasivos se apresentam na forma de pó. Com a ajuda de água, querosene ou óleo, este pó é transformado em pasta abrasiva que será utilizada na rodagem.

Os abrasivos mais comuns na rodagem são :

- o carboneto de silício, o óxido de alumínio branco e a pasta diamantada, para aços temperados;
- o óxido de alumínio comum (cinzento), para metais leves.

Recordar é aprender

Metais leves são aqueles que têm peso específico menor ou igual a 5 kg/dm^3.

Estes abrasivos devem trabalhar com pressão de rodagem de aproximadamente 8 kgf/cm^2 (800kPa) e VC de 20 a 30 m/min. A escolha da granulação dos abrasivos varia de 60 a 800, de acordo com o acabamento que se quer obter. Granulações de 60 a 300 são utilizadas para a rodagem de superfícies acabadas, enquanto granulações de 400 em diante para superfícies perfeitas (espelhadas ou lapidadas). Granulações mais finas, acima de 800, podem também ser usadas, desde que o local de trabalho e o método utilizado sejam adequados.

Na rodagem é possível a retirada de 0,1 a 0,2 mm de sobremetal, sendo o mais comum pequenas retiradas de 0,01 a 0,04 mm.

Agora que você já aprendeu bastante sobre o processo de rodagem, vamos ver como fazer a rodagem manual de uma superfície plana e depois a rodagem com máquina também de uma superfície plana.

Rodagem manual de uma superfície plana

Suponha que você vá fazer a rodagem das faces deslizantes de contato de um centralizador marva.

Você vai necessitar então do seguinte material:

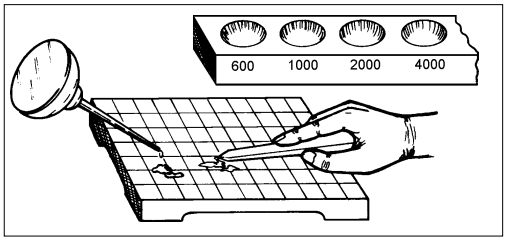
- desempenos de ferro fundido;
- abrasivos (óxido de alumínio com granulações de 600 e pasta abrasiva diamantada de 2 - 4 µm);
- líquido (querosene);
- pano para limpeza;
- bastão de latão para espalhar a pasta abrasiva (querosene + abrasivo);
- plano óptico;

- rugosímetro;
- algodão para limpeza;
- benzina.

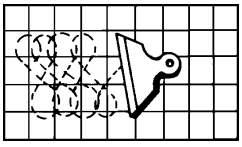
Quanto à operação propriamente dita, ela obedece aos passos seguintes.

- Verifique a rugosidade da peça já retificada.

- Limpe o desempeno e distribua a pasta abrasiva (querosene + abrasivo 600) com o bastão de latão.



- Inicie a rodagem. Para isto, movimente a peça descrevendo a forma do número oito.



Dica tecnológica

Utilize toda a superfície do desempeno para não provocar desgaste em pontos concentrados.

- Limpe a superfície da peça.
- Faça o controle visual da superfície rodada. Observe se não ficaram falhas de usinagem. Caso a superfície apresente falhas de usinagem, continue com a operação até que toda a superfície tenha sido usinada.
- Passe para outro desempeno. Utilize abrasivos de granulações mais finas como 1.000 e 1.500 até a granulação 8.000.

Dica tecnológica

Normalmente, os grãos abrasivos ficam retidos na superfície do desempeno. Não adiantaria portanto utilizar granulações mais finas com o mesmo desempeno. A solução é usar outros desempenos, específicos para cada tamanho de grão abrasivo.

Faça o controle da planeza com o uso do plano óptico. Se necessário, faça o controle da rugosidade. Caso a rugosidade encontrada não seja satisfatória, continue a operação de rodagem, controlando a planeza e a rugosidade até obter valores satisfatórios.

Rodagem por máquina

Na rodagem por máquina a peça permanece parada, enquanto os abrasivos entram em movimento. O operação é executada com pedras ou pó abrasivos.

No caso de uso de pedras abrasivas, estas devem ser fixadas em dispositivos rotativos. No caso de pó abrasivo, este deve ser misturado com querosene a fim de formar a pasta abrasiva, que será utilizada em conjunto com um disco de cobre ou ferro fundido.

Vamos ver um exemplo de como fazer a rodagem nas pontas de contato de um micrômetro. Para isto você vai usar uma lapidadora de micrômetro e mais:

- micrômetro para lapidar, já limpo e ajustado;
- dois discos de lapidação;
- abrasivo em pasta (diamante 2-4 µm e 1-2 µm, equivalentes aproximadamente às granulações de 8.000 e 14.000 respectivamente);
- plano óptico para controle de planeza, ou paralelo óptico para controle de paralelismo;
- rugosímetro;
- benzina;
- algodão e pano;
- querosene;
- rolete cônico.

O objetivo dessa operação é tornar planas, paralelas e com baixa rugosidade as superfícies dos contatos do micrômetro.

Para realizar a operação de rodagem nas superfícies de contato do micrômetro você deve obedecer aos seguintes passos.

- Fixe o micrômetro na lapidadora pela ponta móvel. Anote o valor da abertura. Você vai precisar dela nas fixações posteriores. No nosso exemplo vamos utilizar uma abertura de 10 mm.
- Limpe o disco com querosene, a fim de retirar a poeira que poderia causar problemas na operação.
- Coloque a pasta abrasiva (2-4 µm) na superfície do disco e espalhe-a com um rolete cônico.
- Regule a mesa onde está fixado o micrômetro, de forma que a face do contato do micrômetro que vai ser rodada fique paralela à face do disco.

Observação: A primeira face a ser rodada tanto pode ser a fixa quanto a móvel, no caso de as duas precisarem passar pelo processo de rodagem.

- Inicie a rodagem.
- Troque o disco de lapidação. Utilize disco para o abrasivo de 1-2 µm.
- Controle a superfície obtida, observando a planeza, o paralelismo e a perpendicularidade das faces. Caso necessário, repita a operação de rodagem até obter o resultado desejado.
- Repita os passos do início desta operação até que as duas faces de contato do micrômetro estejam planas, paralelas, perpendiculares e com um grau aceitável de rugosidade .

Como você pôde observar, o superacabamento e a rodagem são processos muito parecidos com o de brunimento. Porém, há algumas diferenças como o tamanho do grão abrasivo. É comum encontrar nas empresas um processo de superacabamento sendo chamado de **rodagem**.

Teste, agora, sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta correta:

Exercício 1

Peças retificadas com riscos e estrias devem ser submetidas à operação de:

a) ( ) rodagem;
b) ( ) polimento;
c) ( ) superacabamento;
d) ( ) lapidação;
e) ( ) brunimento.

Exercício 2

Uma superfície superacabada fica com a aparência de:

a) ( ) cristal;
b) ( ) metal;
c) ( ) platina;
d) ( ) vidro transparente;
e) ( ) espelho fosco.

Exercício 3

O que diferencia superacabamento de retificação é o:

a) ( ) movimento de corte do abrasivo;
b) ( ) deslizamento do rebolo;
c) ( ) movimento de rotação do rebolo;
d) ( ) grau de rugosidade;
e) ( ) nível de porosidade.

Exercício 4

Na operação de superacabamento a superfície da peça fica em contato com o:

a) ( ) rebolo;
b) ( ) disco abrasivo;
c) ( ) pedra abrasiva;
d) ( ) diamante;
e) ( ) eixo do porta-peças.

Exercício 5

Para o acabamento de ajustagens deslizantes ou giratórias de peças de exatidão dimensional, a operação adequada é:

a) ( ) brunimento;
b) ( ) lapidação;
c) ( ) superacabameanto;
d) ( ) retificação;
e) ( ) polimento.

Exercício 6

Para acabamento de cilindro de motor, é recomendável a máquina de superacabamento, denominada:

a) ( ) retificadora;
b) ( ) politriz;
c) ( ) plana;
d) ( ) sem centros (center less);
e) ( ) cilíndrica interna.

Exercício 7

A rodagem pode ser feita:

a) ( ) eletronicamente e com disco;
b) ( ) manualmente e semi-automática;
c) ( ) elétrica e eletronicamente;
d) ( ) semi e automaticamente;
e) ( ) manualmente e por máquina.

Exercício 8

8. O movimento que a peça deve fazer na rodagem manual é em forma de:

a) ( ) árvore;
b) ( ) quatro;
c) ( ) círculos;
d) ( ) quadrados;
e) ( ) oito.

AULA

61

Corte com jato de água

Você certamente já ouviu o ditado "água mole em pedra dura, tanto bate até que fura". Então, furar pedra usando água você já sabe que dá, não é mesmo? Basta um pouco de persistência.

Mas... e acrílico, alumínio, vidro? E chapas de aço doce de 100 mm de espessura? Agora você não está mais tão confiante. Mas, acredite. Também é possível.

Embora seja ainda um processo bastante raro na indústria, já existem máquinas que cortam todos esses materiais, e muitos outros mais, usando jato de água a pressões elevadíssimas.

A água, combinada com a areia, já era usada pelos egípcios, na Antiguidade, em atividades de mineração e limpeza. Foi também utilizada nas minas de ouro da Califórnia, no século passado, para cortar rochas impregnadas de ouro. No nosso século, jatos de areia em conjunto com vapor de água a alta pressão têm sido freqüentemente empregados para limpeza e remoção de tintas.

Mas o uso industrial moderno da tecnologia do jato de água é relativamente recente. Data do final dos anos 60 a concessão da primeira patente de um sistema de corte que utilizava água a uma pressão muito alta.

De lá para cá, muita água já correu. Mesmo assim, no dizer dos especialistas, estamos apenas começando a formar uma idéia do potencial do corte com jatode água.

Nesta aula você terá a oportunidade de conhecer as características básicas desta nova e competitiva tecnologia de corte. Vai aprender como funciona o sistema de corte por jato de água pura e o sistema com abrasivo. Poderá analisar as vantagens e as desvantagens desse processo de corte e saberá quais são as exigências de corte por segurança, para a proteção do trabalhador que opera sistemas manuais de corte por jato de água.

Nossa aula

Primeiras aplicações

Em 1970, o corte por jato de água sob pressão foi desenvolvido para cortar materiais metálicos e não-metálicos. A água tinha de ser levada a uma pressão variando de 30.000 a 50.000 **psi**.

Psi: forma abreviada de ***p**ound **s**quare **i**nch*, que quer dizer libra por polegada quadrada.

O primeiro equipamento comercial de corte por jato de água foi vendido em 1971, para cortar peças para móveis de madeira laminada, material difícil de ser processado pelas serras.

corte de chapa com jato de água

Em 1983, o processo para cortar metais foi modificado, com a adição de abrasivos, entre os quais se destacam as partículas de sílica e de **granada**.

Desde a sua comercialização, no início dos anos 80, o jato de água com abrasivo vem sendo aceito como ferramenta de corte por um número cada vez maior de indústrias, incluindo as aeroespaciais, nucleares, fundições, automobilísticas, de pedras ornamentais, de vidros e de construção.

Granada: mineral homogêneo, sem adição de produtos químicos em sua formulação, composto por diversos óxidos.

Como funciona o jato de água

O processo funciona basicamente da seguinte maneira:

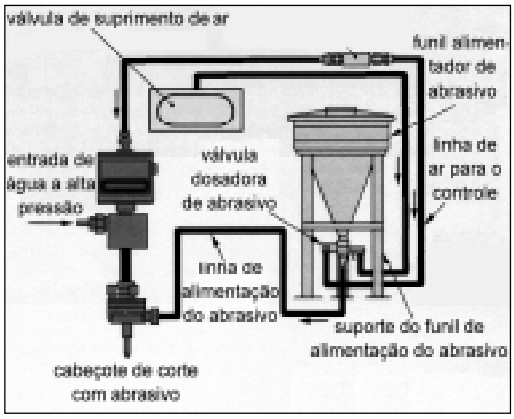
- **Tratamento da água:** A água precisa ser filtrada, para ficar livre de impurezas que poderiam ocasionar entupimento dos bicos de corte. Essas impurezas podem afetar o desempenho e a manutenção do sistema de alta pressão.

- **Elevação da pressão da água:** Bombas bastante poderosas elevam a pressão da água a aproximadamente 4.000 **bar**, ou seja, cerca de 4.000 vezes a pressão atmosférica ao nível do mar. A água pressurizada é armazenada num acumulador, que regulariza o fluxo de saída do fluido. Depois é levada por tubulações até um bocal feito de safira, que é um material com elevada resistência ao desgaste.

bar: unidade de pressão que equivale a 14,5 psi ou 1,02 kgf/cm^2

- **Agregação de material abrasivo:** Acoplado ao bocal, existe um reservatório contendo material abrasivo em pó. Assim, a água, ao passar pelo bocal, arrasta o material abrasivo, o que faz o jato, agora formado por uma mistura de água e abrasivo, ter uma potência de corte maior.

- **Corte do material:** O jato com alta pressão é expelido pelo bocal em direção ao material. O corte ocorre quando a força do jato supera a resistência à compressão do material. Dependendo das características do material a ser cortado, o corte pode resultar de erosão, cisalhamento ou tensão localizada. Um sistema de movimentação permite manipular o jato em torno da peça. Esses movimentos são realizados por motores elétricos controlados por computador. Outra possibilidade de corte é a movimentação manual da peça sobre uma mesa estacionária onde passa um jato vertical de água.



sistema de dosagem de abrasivo

- **Coleta e descarte da água:** Após atravessar o material, o jato de água é amortecido num tanque, contendo água e esferas de aço ou pedras britadas, que fica sob a mesa do equipamento. Em alguns equipamentos, a água é armazenada em uma unidade coletora móvel. O processo não produz efluentes tóxicos, portanto o descarte pode ser feito normalmente. A limpeza regular do tanque de água é tarefa que não oferece perigo nem para o operador, nem para o meio ambiente.

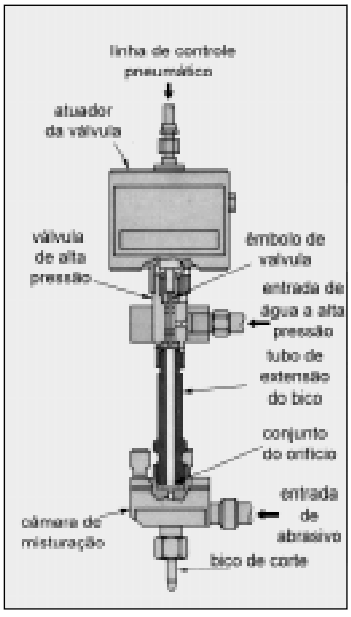
Por que usar abrasivos

Quando se utiliza a tecnologia do jato de água com abrasivo para cortar metais e outros materiais duros, 90% do corte, na realidade, é feito pelo abrasivo e não pela água. O abrasivo produz uma ação de cisalhamento que permite cortar materiais de grande dureza até a espessura de 152,4 mm. Esse tipo de corte é eficaz tanto para materiais duros como para peças que passaram por endurecimento superficial.

O sistema de corte com jato de água e abrasivo produz um jato cortante mais potente. Esse jato deixa o cabeçote de corte através de um tubo de misturação, feito de material cerâmico, como a safira.

Os modelos mais recentes de misturadores incorporam aperfeiçoamentos que possibilitam a manutenção da largura do corte constante, durante todo um turno de trabalho. A diferença da largura de corte no início e no fim de um turno de trabalho é de apenas alguns milésimos de polegadas, o que confere grande confiabilidade ao sistema de corte por jato de água e abrasivo.

A figura ao lado mostra uma representação esquemática de um cabeçote de corte para água e abrasivo.



cabeçote de corte com abrasivo

Pare! Pesquise! Responda!

A indústria de alimentos tem usado o corte por jato de água em várias aplicações, como na remoção da espinha de determinados peixes.

Na sua opinião, nessa aplicação seria o caso de usar jato de água pura ou jato de água com abrasivo? Para responder, pesquise informações sobre eventuais efeitos contaminantes dos abrasivos.

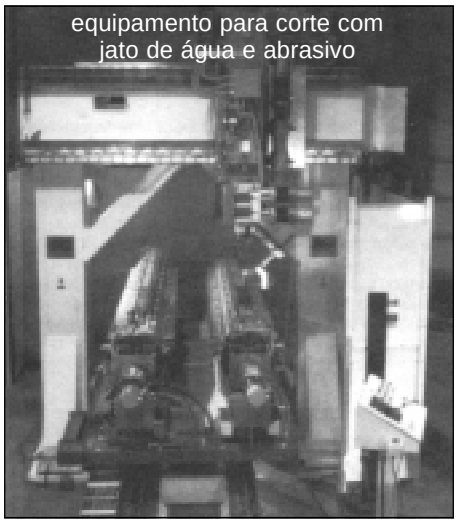
Equipamentos para corte com jato de água pura e com abrasivo

Os sistemas de corte com jato de água e abrasivo podem ser instalados em diferentes tipos de sistemas de movimentação e controle.

Existem sistemas manuais que trabalham em posições fixas, nos quais o movimento é feito pelo operador.

Atualmente, há dois tipos de controle de movimentação manual: um em que o operador guia o sistema de corte e a recepção do jato sobre uma peça é mantida fixa; e outro em que o operador guia a peça sobre uma mesa em torno de um jato que é mantido fixo.

operador utilizando equipamento de corte manual



equipamento para corte com jato de água e abrasivo

Os sistemas automáticos de corte podem ser instalados em robôs tipo pórtico de 5 ou 6 eixos, utilizados para fazer perfis complexos, peças aeroespaciais e componentes automotivos.

Outro equipamento disponível são as mesas X-Y, controladas por CNC.

Nesse sistema, a peça é normalmente colocada sobre um tanque, que receberá o jato de água após o corte. Durante a operação, as forças de reação são muito leves, ou seja, o material cortado não vibra e não sofre deslocamentos e todos os movimentos são realizados pelo cabeçote, que se desloca sobre o pórtico e pela mesa.

A maior parte dos sistemas de corte utiliza tanques cheios de água e algumas vezes outros meios para absorver a energia do jato depois do corte do material. Para cortes feitos no sentido vertical, ou próximo do vertical, são usados tanques com fundo coberto por pedras britadas.

Em sistemas de 5 eixos, normalmente é necessário utilizar um recipiente móvel, que se movimenta junto com o cabeçote de corte. Esse recipiente é parcialmente cheio com esferas de aço inoxidável ou de cerâmica, que absorvem e dissipam a força do jato. Essas esferas devem ser substituídas periodicamente, pois são destruídas pelo processo.

mesa X-Y

Variáveis que afetam o corte por jato de água com abrasivo

Vários fatores influenciam o corte por jato de água com abrasivo:

Pressão – A pressão determina o nível de energia das moléculas de água. Quanto maior a pressão, mais fácil fica vencer a força de coesão das moléculas do material que se pretende cortar.

Fluxo – O fluxo de água determina o índice de remoção do material. Há dois modos de aumentar o fluxo de água: aumentando a pressão da água ou aumentando o diâmetro do orifício da safira.

Diâmetro do jato – O diâmetro do bico de corte para sistemas de corte por água pura varia de 0,5 mm a 2,5 mm. Jatos de diâmetros menores também podem ser produzidos, para aplicações específicas. Para o corte de papel, o diâmetro do jato é de 0,07 mm. Quando se trata do corte por jato de água e abrasivo, os menores diâmetros situam-se em torno de 0,5 mm.

Abrasivo – A velocidade de corte do sistema é aumentada quando se aumenta o tamanho da granulação do abrasivo. Em compensação, abrasivos com menores tamanhos de grãos produzem uma superfície cortada com melhor qualidade. Porém, partículas muito finas de abrasivo são praticamente ineficientes.

O abrasivo mais utilizado é a granada. Ocasionalmente são utilizados outros abrasivos, como a sílica, o óxido de alumínio, o metal duro granulado e o nitrato de silício. Para usinar metais cerâmicos muito duros podem ser usados abrasivos à base de **carbeto de boro.**

Carbeto de boro: substância negra, cristalina, muito dura, com ponto fusão a 2.450°C.

Quanto mais duro for o abrasivo, mais rapidamente se desgasta o bico de corte. Fluxos elevados de abrasivos também aceleram o desgaste do bico de corte.

O fluxo alto de abrasivos acarreta um custo operacional elevado, pois o custo do abrasivo representa uma parcela importante no custo total dos sistemas de corte por jato de água.

Distância e velocidade de corte – À medida que sai do bico, o jato de água se abre. O jato de água com abrasivo apresenta maior abertura, por ser menos uniforme. Isso explica porque a distância entre o bico e o material é sempre muito pequena, abaixo de 1,5 mm. A abertura do jato pode ser reduzida, com a diminuição da velocidade de saída do fluido, com conseqüente diminuição da velocidade de corte.

Analisando os prós e os contras

Você já conheceu alguns tipos de cortes nos livros anteriores deste módulo. E ainda conhecerá outros, nas próximas aulas. Todos eles apresentam vantagens e limitações.

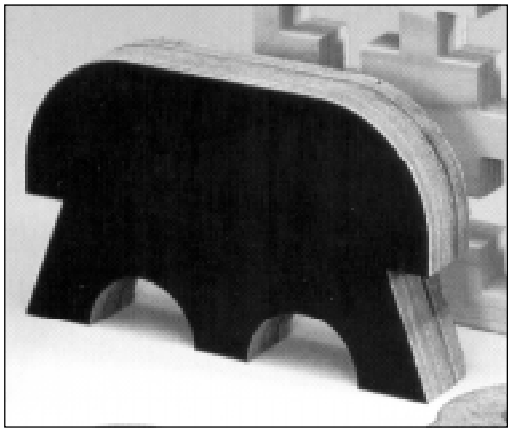
Como nada neste mundo é perfeito, no caso do corte por jato de água e por jato de água com abrasivo não é diferente. Ao lado de muitas vantagens, o sistema também apresenta algumas limitações, que tornam seu uso seletivo.

Um dos principais atrativos desse corte é que ele não produz problemas de efeito térmico, isto é, decorrentes da geração de calor, como ocorre em muitos outros processos de corte.

Além disso, é uma tecnologia "limpa", que não polui o meio ambiente e é aplicável a uma vasta gama de materiais, permitindo fazer o corte em qualquer direção e nas mais variadas formas.

É a tecnologia ideal para cortar certos materiais duros, como placas blindadas ou alguns materiais cerâmicos, que normalmente levam a grande desgaste de ferramentas nos sistemas de corte tradicionais.

Pode ser aplicado sem problemas a materiais do tipo sanduíches de múltiplas camadas, como laminados de madeira, ilustrado na figura abaixo, sem produzir delaminação.



Quanto às limitações, a principal delas é a velocidade do processo. Nesse aspecto, o corte por jato de água perde feio para os sistemas de corte com chama, encarecendo o processo.

O abrasivo escolhido deve ser mais duro que o material que irá cortar.

Chapas de metal de pequena espessura tendem a sofrer esforços de dobramento, apresentando rebarbas na face de saída.

Materiais cerâmicos têm sua resistência diminuída após o corte com jato de água e abrasivo.

Vidros temperados, projetados para quebrar a baixas pressões, também não podem ser cortados por esse sistema.

Entretanto, a expectativa das empresas produtoras de sistemas de corte por jato de água é a de apresentar soluções às exigências do crescente mercado consumidor.

Segurança do operador

Se você já tomou uma ducha com esguicho, é bem capaz de avaliar o impacto da água sobre o corpo humano. Imagine, então, o que aconteceria aos ossos e órgãos se fossem atingidos por um jato de água ou um jato de água com abrasivo, capaz de cortar chapas de metal de mais de 200 mm de espessura!

O ruído, que é proporcional ao diâmetro do jato, também pode afetar o trabalhador, se não se usar um protetor auricular adequado.

Por isso, nos equipamentos em que se faz manualmente o corte, é indispensável que o operador trabalhe protegido, usando luvas, óculos e protetores auriculares.

Os equipamentos de corte por jato de água e abrasivo já incorporam dispositivos de segurança construídos pelos próprios fabricantes. Por exemplo, se ocorrer a ruptura de alguma tubulação, uma proteção externa ao tubo evita a descarga da água a alta pressão e um sistema de segurança desliga o equipamento.

Como você pode observar, a água tem muito mais utilidades, além de matar a sede. E, para matar sua sede de saber, faça os exercícios a seguir. Eles o ajudarão a sistematizar os assuntos apresentados nesta aula.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercícios 1

No sistema de corte por jato de água, a agregação do abrasivo tem por finalidade:

a) ( ) aumentar a velocidade do processo;
b) ( ) aumentar o fluxo do jato de água;
c) ( ) aumentar a pressão do jato de água;
d) ( ) aumentar a potência de corte do jato de água.

Exercício 2

Depois de atravessar a peça, o jato de água ainda conserva grande parte da sua energia. Assinale com X os materiais que são usados para amortecer o impacto da água no tanque de coleta.

a) ( ) borracha;
b) ( ) pedras britadas;
c) ( ) esferas de aço inoxidável;
d) ( ) material mais duro que as paredes do tanque.

Exercício 3

Em geral a distância entre o bico de corte e o material a ser cortado é pequena (abaixo de 1,5 mm). Isso ocorre porque:

a) ( ) o diâmetro do jato de água tende a se abrir, depois de sair do bocal;
b) ( ) essa distância aumenta a velocidade do corte;
c) ( ) a essa distância a pressão da água é mais alta;
d) ( ) é necessária menor quantidade de abrasivo.

Exercício 4

Analise a lista de materiais abaixo e, com base no que foi apresentado nesta aula, assinale com X o(s) que você cortaria utilizando **jato de água com abrasivo**.

a) ( ) vidro temperado;
b) ( ) chapas de metal de pequena espessura;
c) ( ) papel;
d) ( ) placas blindadas.

Exercício 5

Assinale a(s) vantagem(ens) do corte por jato de água com abrasivo, quando comparado aos sistemas tradicionais:

a) ( ) proporciona maior velocidade de corte;
b) ( ) não acarreta problemas de efeito térmico;
c) ( ) proporciona boa qualidade de corte;
d) ( ) corta praticamente todos os materiais.

AULA

62

Corte com laser

Até bem pouco tempo atrás, quando se ouvia a expressão "raio **laser**" (lê-se lêiser), as imagens que vinham à nossa cabeça estavam associadas aos filmes de ficção científica: criaturas de outros planetas usando armas poderosas, que emitiam raios mortais, dispostas a tudo para conquistar a Terra.

Mais recentemente, entretanto, algumas aplicações na área médica e odontológica contribuíram para popularizar a palavra "laser". O velho e irritante motorzinho do dentista já pode ser encontrado em sua versão laser. O bisturi perdeu a lâmina e virou laser. Já se usa o laser para destruir acúmulos de gordura no interior de veias e artérias... Enfim, essa tecnologia pulou das telas dos cinemas para dentro da nossa vida. Deixou de ser uma arma de morte para se tornar, nas mãos de hábeis cirurgiões, um instrumento de vida.

Mas você já deve estar se perguntando o que tudo isso tem a ver com processos de fabricação.

Tem muito a ver. Na indústria, essa tecnologia é usada na soldagem, no tratamento térmico e no **corte de metais**.

Essa última aplicação é a que vai nos interessar nesta aula. Você vai ficar sabendo como o laser é utilizado para cortar diversos tipos de aço, alumínio e suas ligas e outros materiais metálicos e não-metálicos.

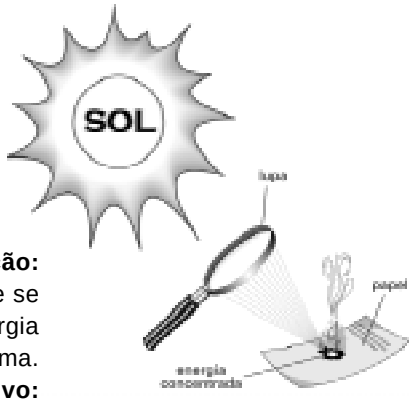
E, para que você não confunda laser com lazer, vamos começar explicando o que é o laser, afinal.

Laser é luz

Nossa aula

O nome Laser é uma sigla formada pelas letras iniciais das palavras ***L****ight* ***a****mplification by* ***s****timulated* ***e****mission of* ***r****adiation*, que em português quer dizer: amplificação da luz por emissão estimulada da radiação.

O uso do laser pode ser entendido mais facilmente se você imaginar o que acontece quando focalizamos raios de sol através de uma lente, para produzir uma fonte concentrada de energia, na forma de calor, sobre uma folha de papel.



Embora desse método resultem apenas uns poucos buracos queimados no papel, ele nos mostra que a luz é realmente uma fonte de energia com potencial e condições de ser processada e explorada do ponto de vista industrial.

Laser é um sistema que produz um feixe de luz concentrado, obtido por **excitação** dos elétrons de determinados átomos, utilizando um **veículo ativo** que pode ser um sólido (o rubi) ou um líquido (o dióxido de carbono sob pressão). Este feixe de luz produz intensa energia na forma de calor.

Excitação: processo em que se transfere energia para um sistema.
Veículo ativo: material utilizado para converter energia elétrica em energia de radiação.

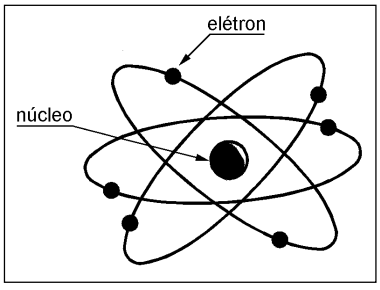
A incidência de um feixe de laser sobre um ponto da peça é capaz de fundir e vaporizar até o material em volta desse ponto. Desse modo, é possível furar e cortar praticamente qualquer material, independentemente de sua resistência mecânica.

Atualmente, o tipo mais comum de laser usado na indústria utiliza o dióxido de carbono (CO_2) como veículo ativo. Outros gases, como o nitrogênio (N_2) e o hélio (H), são misturados ao dióxido de carbono para aumentar a potência do laser.

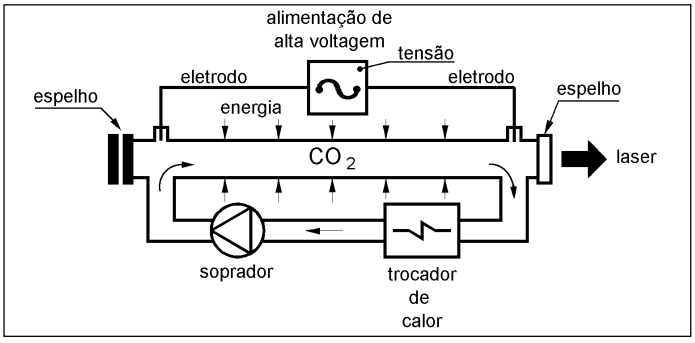
O grande inconveniente do laser é que se trata de um processo térmico e, portanto, afeta a estrutura do material na região de corte.

Como é gerado o laser

Os elétrons dos átomos de carbono e oxigênio, que compõem o CO_2, ocupam determinadas posições dentro da estrutura do átomo. Essas posições são chamadas de níveis energéticos. Esses níveis energéticos podem ser entendidos como regiões ao redor do núcleo dos átomos.

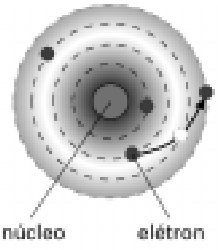


Um dispositivo chamado soprador faz circular CO_2 dentro de uma câmara, como mostra a figura.



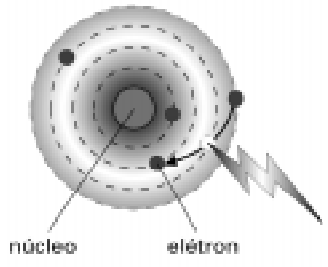
Essa câmara tem dois eletrodos ligados a uma fonte de alta-tensão. Esses eletrodos criam um campo elétrico que aumenta a energia do gás dentro da câmara.

Em razão desse acréscimo de energia, os elétrons dos átomos que formam o CO_2 se excitam e mudam de nível orbital, passando a girar em níveis mais externos.



mudança de nível energético do elétron (ganha energia)

Após algum tempo, os elétrons voltam ao seu nível energético original. Nessa volta, eles têm de eliminar a energia extra adquirida.

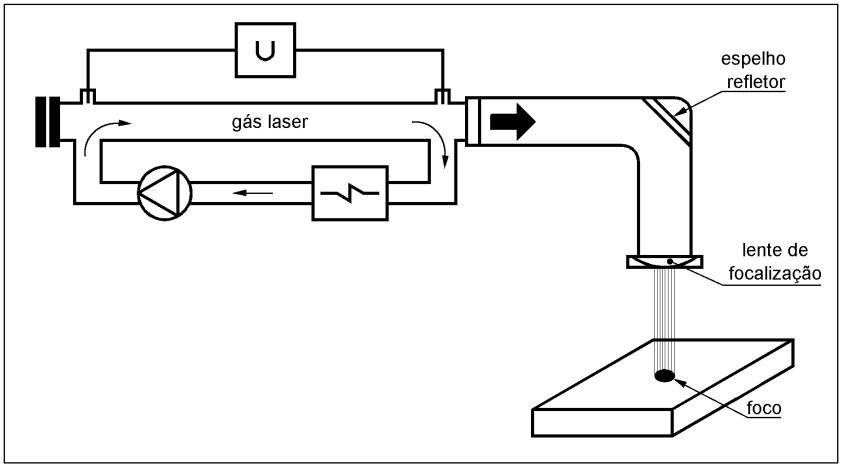


mudança de nível energético do elétron (perda de energia)

Existem duas maneiras de se perder energia: por colisão e por emissão espontânea. No primeiro caso, quando o elétron se choca com outro, sua energia é consumida.

Na emissão espontânea, ocorre uma liberação de energia na forma de luz. Esta luz emitida estimula a emissão contínua, de modo que a luz seja amplificada.

Essa luz é guiada e novamente amplificada por meio de espelhos, até que, no cabeçote da máquina, é concentrada, através de lentes, num único ponto: **o foco**. O direcionamento permite a concentração de energia em um ponto inferior a 0,25 mm de diâmetro.

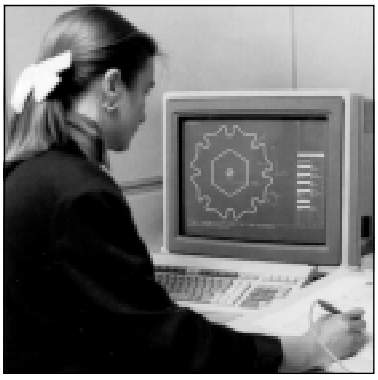


O sistema de corte a laser combina o calor do raio focado com a mistura de gases (dióxido de carbono, nitrogênio e hélio) para produzir uma potência que chega a cerca de 3.000 watts por centímetro quadrado, capaz de vaporizar a maioria dos metais. O hélio auxilia ainda na dissipação do calor gerado pelo campo elétrico.

Equipamento de corte a laser: o futuro que já é presente

Os sistemas de corte a laser não podem ser operados manualmente, pois o processo envolve alta concentração de energia, uma vez que o feixe deve ser muito concentrado e o corte ocorre a velocidades muito altas.

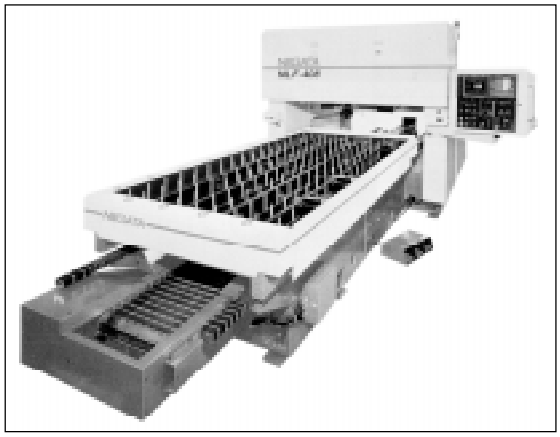
O equipamento mais comum consiste em mesas móveis, com capacidade de movimentação segundo os eixos **x**, **y** e **z**. Os eixos **x** e **y** determinam as coordenadas de corte, enquanto o eixo **z** serve para corrigir a altura do ponto focal em relação à superfície da peça, pois, durante o corte, esta distância é afetada por deformações provocadas na chapa, pelo calor decorrente do próprio processo.



As coordenadas de deslocamento geralmente são comandadas por um sistema CAD (**C**omputer **A**ided **D**esign ou, em português, projeto assistido por computador), acoplado à mesa de corte.

Nas máquinas de corte a laser, como a que é mostrada a seguir, o material a ser cortado normalmente encontra-se em forma de chapas, embora existam máquinas que se destinem ao corte de tubos.

Observe que a chapa é colocada sobre uma espécie de "cama de pregos", apoiando-se em vários pontos.



Sobre ela, o cabeçote laser movimenta-se em duas direções: longitudinal e transversal. Esses movimentos são transmitidos por motores elétricos, controlados por computador.

Pelo cabeçote laser flui um gás, chamado **gás de assistência**, que tem por função, entre outras, remover o material fundido e óxidos da região de corte. O gás normalmente usado para esta finalidade é o oxigênio, porque ele favorece uma reação exotérmica, isto é, libera calor, aumentando ainda mais a temperatura do processo e, por conseqüência, a velocidade de corte.

Entretanto, o nitrogênio pode ser preferido como gás de assistência quando forem necessárias superfícies livres de óxidos, como no corte de aços inoxidáveis.

As máquinas de corte a laser podem cortar chapas de aço-carbono de até 20 mm de espessura. Ao contrário do que se poderia pensar, sua capacidade de corte de chapas de alumínio, por exemplo, é bem menor: corta chapas de 6 mm, no máximo. Isso se explica pela tendência do alumínio ao empastamento e à reflexão da luz.

Fatores que afetam o corte a laser

Os gases para corte a laser são, normalmente, fornecidos em cilindros de gases puros, mas também podem ser entregues pré-misturados. As **impurezas** na mistura de gases podem baixar o desempenho do laser de CO_2, diminuindo a potência de saída, tornando a descarga elétrica instável ou aumentando o consumo dos gases.

A **potência do feixe** é outro fator que determina a capacidade do laser de interagir com o material a ser cortado e iniciar o corte. Em geral, o aumento da potência permite cortar com velocidades maiores, mantendo a qualidade de corte inalterada, ou cortar materiais de maiores espessuras.

A **velocidade de corte** deve ser determinada em conjunto com a potência e a pressão e vazão do gás de assistência. Valores muito elevados de velocidade tendem a produzir estrias na superfície de corte, rebarbas na parte posterior da superfície atingida pela radiação e até mesmo impossibilidade de realizar o corte. Velocidades baixas, por outro lado, produzem um aumento da zona termicamente afetada e um decréscimo na qualidade do corte.

O gás de assistência deve ter **vazão** suficiente para remover o material fundido, proveniente do corte. Materiais como plásticos, madeiras ou borrachas permitem utilizar vazões mais elevadas.

O **ponto focal** é o ponto de concentração máxima de energia do feixe. No caso de chapas finas, deve ser colocado na superfície. Se as chapas forem grossas, o ponto focal deve ser ajustado para regiões ligeiramente abaixo da superfície, desde que não ultrapasse 1/3 da espessura da chapa.

Quando usar e não usar o corte a laser

O uso de máquinas de corte a laser é recomendado quando as peças apresentarem formas complicadas e for exigido um acabamento de superfície praticamente livre de rebarbas na região de corte. Como esse processo não requer estampos de corte, é possível produzir rapidamente lotes pequenos e diversificados.

O fato de o laser de CO_2 gerar uma imensa intensidade de calor não significa que ele possa vaporizar e cortar todos os metais conhecidos, pois cada material reage de forma diferente a esse tipo de energia.

A seguir são apresentados comentários sobre o comportamento de alguns materiais em relação ao corte a laser.

Aços não ligados – Podem ser facilmente cortados a laser, principalmente se o gás de assistência for o oxigênio. A qualidade de corte é boa, produzindo pequenas larguras de corte e bordas retas, sem rebarbas e livre de óxidos.

Aços inoxidáveis – Chapas finas podem ser cortadas com excelente resultado. Não é possível cortar chapas tão espessas como as de aços não ligados.

Aços-ferramenta – São difíceis de cortar por outros métodos convencionais, por causa do alto teor de carbono, mas apresentam boa qualidade de superfície, quando cortados a laser.

Alumínio e suas ligas – A espessura máxima que pode ser cortada a laser situa-se por volta de 4 mm a 6 mm, pois, como já foi dito, o alumínio reflete a luz e é bom condutor de calor, dificultando a concentração de energia.

Cobre e suas ligas – Assim como o alumínio, também apresenta tendência a refletir a luz. Para o corte de peças não planas, é extremamente importante a proteção contra radiação refletida.

Titânio e suas ligas – Pode ser cortado a laser, desde que a zona de corte seja protegida por um gás inerte (CO_2 , He, N_2), que evita a oxidação pelo ar. Na face posterior do corte deve ser injetado um gás igualmente inerte, que ajuda a eliminar as gotas aderentes de metal fundido.

Outros materiais – O laser corta ainda vários outros materiais não-metálicos como: polímeros, têxteis, couro, cerâmica, rochas etc.

Vantagens e desvantagens do laser

Por ser uma forma de energia concentrada em pequena área, o corte a laser proporciona cortes retos, pequena largura de corte, zona mínima afetada pelo calor, mínima distorção e arestas de excelente qualidade.

Por ser uma luz, não entra em contato direto com a peça, não causando distorções e não se desgastando.

É um sistema de fácil automatização, permite cortar peças de formas complexas e não requer a troca de "ferramenta de corte" cada vez que é substituído o material a ser cortado.

Do lado das desvantagens, pode-se destacar: o alto custo inicial do sistema; a pequena variedade de potências disponíveis, que limitam o corte a espessuras relativamente baixas e a materiais que apresentem baixa reflexão da luz; a formação de depósitos de fuligem na superfície, no corte de materiais não-metálicos, como madeira e couro; a formação de produtos tóxicos (ácido clorídrico), no corte de PVC.

O laser representa uma tecnologia nova e pouco familiar para uma boa parte das empresas metalúrgicas, acostumadas aos sistemas convencionais de corte. Mas a superação das limitações atuais e a construção de sistemas mais adequados às necessidades e disponibilidades financeiras das pequenas e médias empresas são perspectivas que tornam o laser uma tecnologia de grande potencial para o futuro próximo.

Desfeito o mistério em torno do laser, você agora sabe que essa forma de energia pode fazer muito mais do que tocar suas músicas preferidas num "CD player" ou enfeitar o céu em noites de grandes espetáculos. Mas para ter certeza de que ficou claro para você como essa tecnologia é aplicada na indústria, resolva os exercícios a seguir.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

O gás mais utilizado industrialmente como veículo ativo do laser é:

a) ( ) hélio (He);
b) ( ) nitrogênio (N_2);
c) ( ) oxigênio (O_2);
d) ( ) dióxido de carbono(CO_2).

Exercício 2

Alguns gases são adicionados ao veículo ativo do laser para:

a) ( ) aumentar a velocidade de corte;
b) ( ) aumentar a potência de corte;
c) ( ) diminuir o diâmetro do feixe de luz;
d) ( ) excitar os elétrons livres dos átomos.

Exercício 3

O gás de assistência tem por função, entre outras:

a) ( ) resfriar a região de corte;
b) ( ) remover o material fundido da região de corte;
c) ( ) evitar a produção de estrias na superfície de corte;
d) ( ) amplificar a luz do feixe laser.

Exercício 4

Nas máquinas de corte a laser que produzem movimentos segundo os eixos **x**, **y** e **z**, o eixo **z** serve para:

a) ( ) corrigir a altura do ponto focal em relação à superfície da peça;
b) ( ) determinar a movimentação longitudinal do cabeçote de corte;
c) ( ) determinar a movimentação transversal do cabeçote de corte;
d) ( ) corrigir a largura de corte.

Exercício 5

As máquinas de corte a laser podem cortar:

a) ( ) qualquer tipo de material metálico e não-metálico;
b) ( ) apenas materiais metálicos;
c) ( ) alguns materiais metálicos e não-metálicos;
d) ( ) qualquer material metálico com mais de 6 mm de espessura.

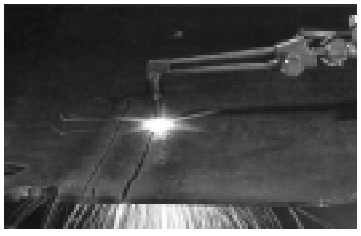
AULA

63

Oxicorte

Nas aulas anteriores deste módulo, você aprendeu o que são cortes nos materiais e os processos de corte em guilhotina, serra, talhadeira, entre outros, denominados cortes mecânicos.

Nesses processos não se utiliza nenhuma fonte de calor. Eles têm a vantagem de não provocar deformações na superfície do material nem alterações na estrutura da peça cortada. Apresentam, também, uma grande limitação quanto ao tamanho das peças a serem cortadas, à espessura de corte, à dificuldade de deslocamento do equipamento, aos altos custos etc.



Para suprir essas necessidades, utilizamos o processo **oxicorte** por causa da simplicidade do equipamento, da facilidade para locomoção, da adaptação a diferentes espessuras, da facilidade para cortes retos, em curvas ou forma livre.

Nossa aula

Um pouco de teoria

O oxicorte é um dos processos de corte que se fundamenta na erosão do material por meio da ação do calor (**erosão térmica**).

Erosão térmica: separação de partículas de material por meio do calor gerado pela ignição de gases, arco voltaico, raios laser etc.

Neste processo, a erosão térmica que vai promovendo o corte, surge de uma reação do oxigênio com o metal a alta temperatura.

Para a realização do corte, o metal deve ser aquecido até uma temperatura chamada "temperatura de ignição". Em seguida, o metal é exposto a um jato de oxigênio puro que causa sua oxidação. Esta reação do oxigênio com o metal produz uma quantidade de calor suficiente para fundir o óxido formado, que é arrastado pelo oxigênio, promovendo assim a separação do material.

No oxicorte, a energia é gerada por uma mistura de oxigênio e gás combustível. Existem muitos gases carburantes que podem ser utilizados no processo, tais como hidrogênio, butano, propano e acetileno. Entretanto, a grande maioria deles apresenta baixa capacidade térmica, mesmo na mistura com oxigênio.

Os gases são fornecidos em cilindros produzidos para uso imediato, como no caso do acetileno e do hidrogênio.

O acetileno é um gás que se destaca pela alta potência da sua chama e alta velocidade de inflamação.

Todo metal capaz de reação química com o oxigênio e com ponto de fusão do óxido inferior ao ponto de fusão do metal pode ser cortado pelo processo oxiacetilênico.

PONTO DE FUSÃO DE METAIS E PONTO DE FUSÃO DO ÓXIDO MAIS COMUM DESSES METAIS

METAIS	PONTO DE FUSÃO	PONTO DE FUSÃO DO ÓXIDO MAIS COMUM
Alumínio (Al)	660°C	2050°C
Cobre (Cu)	1083°C	1150°C
Cromo (Cr)	1890°C	2275°C
Ferro (Fe)	1535°C	1370°C
Manganês (Mn)	1247°C	1785°C
Níquel (Ni)	1453°C	1985°C

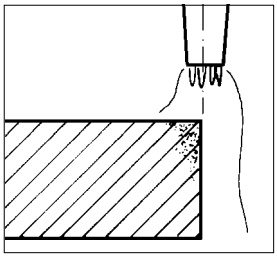
A presença de elementos químicos nos aços-liga influencia a oxicortabilidade do metal, como mostra o quadro a seguir.

AÇOS-LIGA

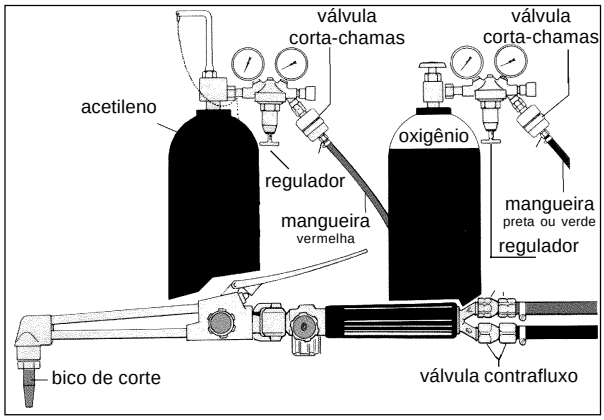
Elementos químicos	Proporção	Cortável	Não cortável	Observações
Manganês (Mn)	13% de Mn e 1,3% de C	X		Facilmente cortável.
	18% de Mn e 1,3% de C		X	Quantidades elevadas de manganês não permitem o corte.
Silício (Si)	2,5% de Si e 0,2% de C	X		O corte é limpo.
	3,8% de Si e 0,4% de C	X		O corte é dificultado.
	mais de 12% de Si	X		Quantidades elevadas de silício não permitem o corte.
Cromo (Cr)	1,5% de Cr	X		
Níquel (Ni)	7% de Ni	X		Facilmente cortável.
	35% de Ni e 0,3% de C	X		É cortável somente se contiver até 0,3% de C. Caso contrário as bordas tornaram-se muito duras.
Cobre (Cu)	0,5% de Cu	X		Cortável como o aço comum.
Molibdênio (Mo)	8% de W e 1,4% de Cr 1% de C e 5,5% de Mo		X	O molibdênio limita a cortabilidade. Se não houver molibdênio, a liga é cortável.
Tungstênio (W)	5% de Cr e 0,2% de Si até 8% de C e até 10% de W	X		Se a liga contiver tungstênio acima de 20%, ela não será cortável.
Fósforo (P)	2% de P	X		O fósforo influi muito pouco na cortabilidade.
Enxofre (S)	3,5% de S	X		O enxofre contido em aços também não atrapalha a cortabilidade.

Fique por dentro

Chama oxiacetilênica – Para a queima completa de 1 m de acetileno são necessários 2,5 m de oxigênio. O maçarico, porém, recebe para 1 m de acetileno somente 1 m de oxigênio através do cilindro. A chama adquire o restante 1,5 m de oxigênio do ar ambiente. Essa chama deve permitir a inflamabilidade ou queima de uma pequena região do material onde está sendo aplicada. Em geral, situa-se nas bordas do material.



Equipamento



O equipamento básico é constituído de cilindros de oxigênio e acetileno, respectivamente, com os reguladores específicos para esses gases. Deve-se sempre utilizar válvulas corta-chamas, montadas entre os reguladores e as mangueiras.

Essas válvulas são equipamentos de segurança baratos, principalmente se comparados com resultado de possíveis acidentes nos quais teríamos, provavelmente, mangueiras queimadas e manômetros destruídos, ou até, em casos mais graves, explosões que resultariam em cilindros inutilizados, além de risco de vida.

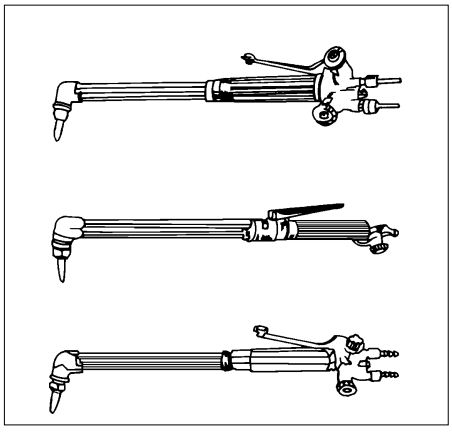
Além da válvula corta-chamas é aconselhável montar válvulas contrafluxo entre o maçarico e as mangueiras (acetileno e oxigênio).

A válvula não detém chamas retrocedentes, pois seria destruída pelo calor da chama, porém evita a entrada de acetileno na mangueira de oxigênio e vice-versa.

As mangueiras usadas para conduzir os gases são apresentadas em cores diferentes: a preta ou verde para oxigênio e a vermelha para acetileno.

Maçarico de corte

Existem diversos tipos de maçaricos de corte. Eles dispõem de válvulas de oxigênio e de acetileno para ajuste da chama, e de um volante para ajuste do oxigênio de corte.



Como na solda, os maçaricos podem ser de dois tipos: injetores e misturadores. Os injetores utilizam o oxigênio a média pressão e o gás combustível a baixa pressão. Os misturadores utilizam o oxigênio e o gás combustível à mesma pressão. No corte usam-se os injetores.

Como fazer o corte

Para se obter um corte de boa ou até de alta qualidade, é necessário seguir os passos:

- colocar o bico de corte de acordo com as especificações, para a espessura a ser cortada;
- abrir as válvulas dos cilindros e, em seguida, **pré-ajustar** a pressão de trabalho;
- acender a chama utilizando um acendedor apropriado.
  Atenção: nunca usar isqueiro para essa finalidade!
- regular a chama;
- cortar a peça.
  Atenção: caso haja retrocesso de chama, não jogar o maçarico ao chão. Você terá um tempo de 10 a 15 segundos, com segurança, para fechar as válvulas dos cilindros.

- apagar a chama: para isso, você deve fechar **primeiro** o volante de acetileno e depois o de oxigênio.

Segurança do operador

Para sua segurança:

- use óculos de proteção apropriados contra fagulhas, escória e brilho da chama, durante todo o tempo;
- use luvas, mangotes, aventais e perneiras de proteção;
- conserve toda a roupa e equipamento de proteção individual livres de óleo ou graxa.

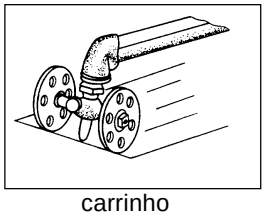
Prevenção contra incêndio

Para evitar acidentes e risco de incêndio:

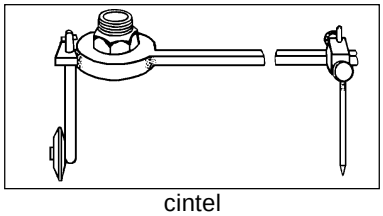
- nunca use óleo ou graxa próximo aos equipamentos de oxigênio;
- conserve a chama ou fagulha longe dos cilindros e mangueiras;
- mantenha materiais combustíveis a uma distância segura das áreas em que esteja sendo executado o corte (distância mínima: 10 m);
- mantenha extintor de incêndio na área de trabalho, verificando sempre suas condições de uso;
- mantenha a chave na válvula do cilindro, para o caso de precisar ser fechado rapidamente;
- **nunca** teste vazamentos de gás com uma chama. Use líquido apropriado para isso, ou mesmo, água com sabão;
- terminado o trabalho, inspecione a área quanto a possíveis focos de incêndio;
- feche as válvulas de todos os cilindros.

Acessórios para corte manual

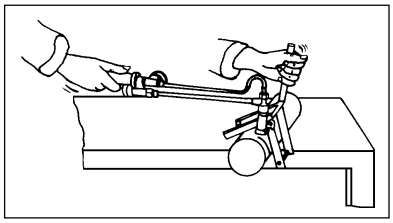
Os cortes circulares são feitos com apoio de um compasso, montado no próprio maçarico. Costumam-se utilizar, também, guias com uma ou duas rodas, para executar cortes retos. Esses guias são de grande utilidade, principalmente para pessoas que não têm as mãos firmes.



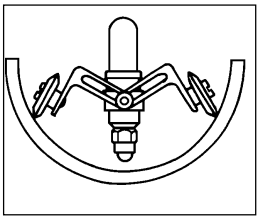
carrinho



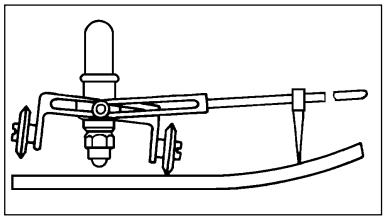
cintel



dispositivo para auxiliar o corte em superfícies cilíndricas



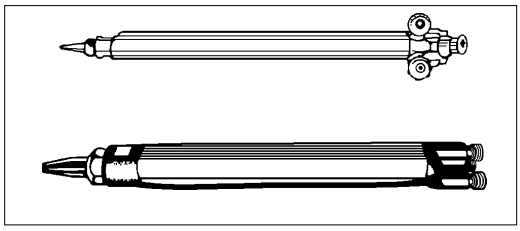
carrinho para corte interno de tubo



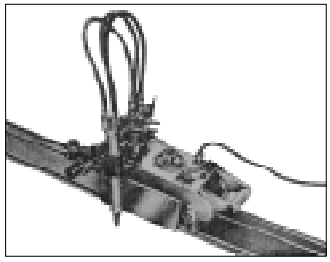
carrinho para cortes curvos em superfícies irregulares

AULA
63

Até agora, você viu procedimentos de corte manual. O oxicorte pode ser efetuado, também, de formas semi-automática e automática. Para isso, outros tipos de maçarico são necessários.



Oxicorte semi-automático



No oxicorte semi-automático são utilizadas máquinas de corte portáteis, que se movimentam sobre trilhos, para produzir cortes retos. Esse é um equipamento relativamente simples, com motorização elétrica, de velocidade variável.

Oxicorte automatizado

Existem diversos tipos de mesas de corte. Elas são usadas no processo automático, podendo integrar até três ou mais maçaricos de corte; eles trabalham com células fotoelétricas ou com microprocessadores. Nesse equipamento, todo movimento é feito pela máquina.

O operador prepara o material a ser cortado, acende a chama, limpa e guarda as peças cortadas.

O sistema por células fotoelétricas trabalha semelhante a uma máquina copiadora. A única diferença é que, em vez do "pino-guia", que acompanha a circunferência de uma peça padrão, o sensor do sistema de células fotoelétricas acompanha tanto a circunferência de uma peça padrão como as linhas de um desenho, guiando o maçarico.

Equipamentos de última geração se beneficiam de circuitos eletrônicos e microprocessadores e executam o serviço, normalmente, por meio de programas prontos ou editados na própria empresa.

Esses equipamentos de comando numérico, embora tenham alto custo inicial, compensam pela economia operacional. A preparação de programas de corte, via computador, permite ótimo aproveitamento da matéria-prima, reduzindo a um mínimo o desperdício.

Esses processos automatizados, em geral, são encontrados em empresas que produzem peças utilizando oxicorte em grande escala. Portanto, para obter mais informações sobre esses processos, consulte catálogos de empresas especializadas.

Por ora, revise o que você aprendeu e resolva os exercícios a seguir.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Cite quatro gases geralmente usados no processo de oxicorte.

Exercício 2

Por que o acetileno é o gás mais usado no processo de oxicorte?

Exercício 3

O que o operador de maçarico nunca deve fazer em caso de retrocesso de chama?

Exercício 4

Qual a cor utilizada para mangueiras de acetileno?

Exercício 5

Quais as diferenças fundamentais, quanto ao movimento de corte, entre os processos de oxicorte manual, semi-automático e automático?

AULA

64

Corte plasma

Nesta aula, vamos estudar uma técnica de corte chamada **corte plasma**. Inicialmente, você vai saber o que é **plasma**, como ele é usado e quais são suas características. Em seguida, veremos como se procede na operação de corte plasma . Vamos lá ?

Nossa aula

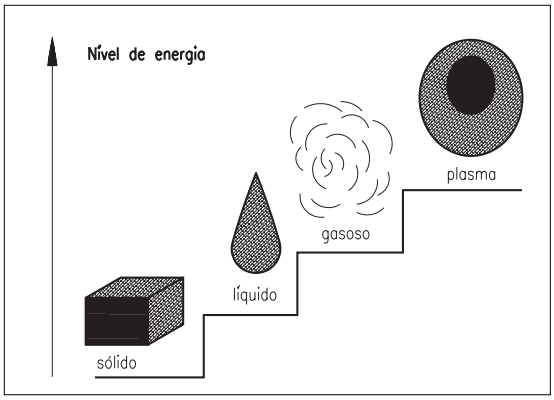
Plasma

Sabemos que a matéria pode se apresentar nos estados sólido, líquido e gasoso. Entretanto, há um estado chamado plasma, conhecido também como o quarto estado da matéria.

Para uma visão geral de como se produz o plasma, pode-se tomar como exemplo a água.

Considerando os três estados físicos da matéria, sólido, líquido e gasoso, tem-se o gelo, a água e o vapor. A diferença básica entre esses três estados é o quanto de energia existe em cada um deles. Se adicionarmos energia sob forma de calor ao gelo, ele se transforma em água. E se adicionarmos mais energia a essa água, ela se transformará em vapor, separando-se em dois gases: hidrogênio e oxigênio.

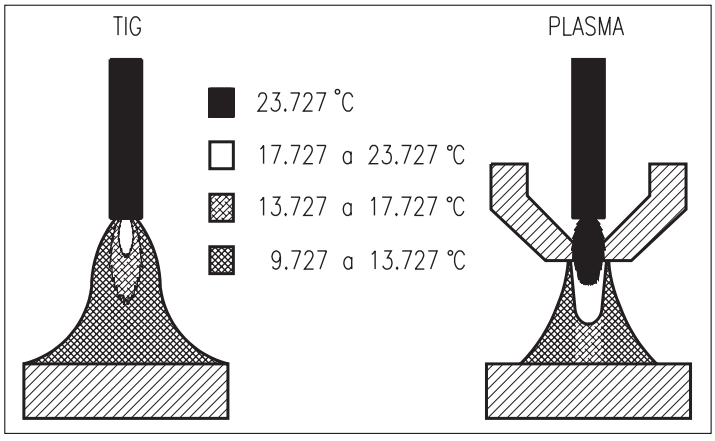
Se continuar a adição de energia ao vapor, algumas de suas propriedades são alteradas, como a temperatura e características elétricas. Esse processo é chamado **ionização**, e quando isso acontece os gases tornam-se plasma.



O plasma é um condutor elétrico, e quanto menor for o local em que ele se encontrar, tanto maior será sua temperatura. Para entendermos melhor como isso ocorre, podemos tomar como exemplo uma corrente elétrica passando por um fio. Se estreitarmos o fio por onde passa a corrente elétrica, a resistência à passagem da corrente aumenta, aumentando também a tensão entre os elétrons e, conseqüentemente, a temperatura do fio.

O surgimento do processo de corte a arco plasma

Em 1950, o processo TIG (gás inerte de tungstênio) de soldagem estava implantado como um método de alta qualidade para soldar metais nobres. Durante o desenvolvimento desse processo, os cientistas envolvidos no trabalho descobriram que se reduzissem o diâmetro do bocal por onde saía a tocha de gás para soldagem, as propriedades do arco elétrico do equipamento de soldagem ficavam bastante alteradas. A redução do diâmetro de saída comprimia o arco elétrico, aumentando a velocidade e a temperatura do gás. O gás, ionizado, ao sair pelo bocal, em vez de soldar, cortava metais.



Nessa figura, os dois arcos estão operando com uma corrente elétrica de 200 ampères. O bocal de jato plasma está apertado e por isso opera com o dobro da tensão. Produz um plasma muito mais quente que o bocal do arco TIG. Se a mesma corrente (200 ampères) é forçada a passar pelo bocal do plasma, a tensão e a temperatura aumentam e uma energia cinética do gás sai pelo bocal, provocando o corte do metal.

Características do arco plasma

As características do arco plasma variam de acordo com:

- o tipo de gás de corte;
- a quantidade de vazão;
- o diâmetro do bocal (bico de corte);
- a tensão do arco elétrico.

Esses elementos precisam ser controlados e usados segundo princípios técnicos para se obter bom rendimento do trabalho.

Desse modo, se é usada uma baixa vazão de gás, o jato de plasma apresenta alta temperatura e concentra grande quantidade de calor na superfície. Esta é a situação ideal para soldagem.

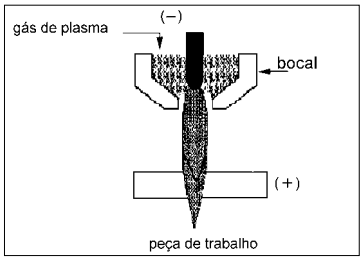
Ao contrário, se a vazão de gás é aumentada, a velocidade do jato de plasma é tão grande que empurra o metal fundido através da peça de trabalho, provocando o corte do material.

AULA

64

O corte plasma convencional

O corte plasma, utilizado no mesmo estado em que foi descoberto, é atualmente chamado de **corte plasma convencional**. Pode ser aplicado a cortes de vários metais com espessuras diferentes. É muito usado, por exemplo, para cortar aço inoxidável, aço-carbono e alumínio. Para se obter um bom rendimento do trabalho, é preciso utilizar o gás adequado para corte de cada material, controlar a vazão do gás e a tensão do arco elétrico, levar em conta a capacidade de condução de corrente da tocha de plasma e as propriedades do metal a ser cortado.

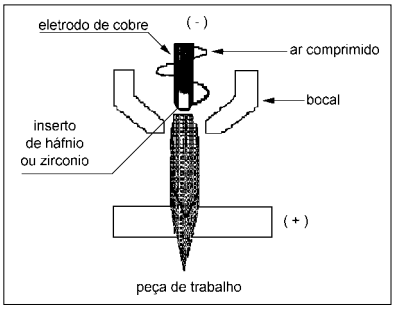


Uma tocha mecanizada com capacidade para 1.000 ampères pode cortar até 250 mm de aço inoxidável ou alumínio. Entretanto, habitualmente, na indústria, a espessura de corte não ultrapassa 50 mm.

Essa técnica de corte foi introduzida na indústria em 1957 e, inicialmente, era usada para cortar qualquer metal a altas velocidades de corte. As chapas a serem cortadas variavam de 0,5 mm até 250 mm.

Corte plasma com ar comprimido

Esse tipo de corte incorpora em seu processo o ar comprimido como um elemento que substitui gases industriais de alto custo, como hidrogênio e hélio e proporciona um corte mais econômico. O oxigênio presente no ar fornece uma energia adicional que aumenta a velocidade de corte em 25%. Esse processo pode ser usado para corte de aço inoxidável e alumínio. Entretanto, a superfície desses materiais tende a ficar fortemente oxidada, o que não é adequado para certas aplicações.



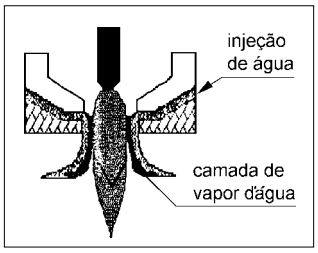
A principal desvantagem desse processo de corte é a rápida erosão do eletrodo. Um eletrodo de tungstênio, por exemplo, desgasta-se em poucos segundos se o gás de corte contiver oxigênio. Por isso, é necessária a utilização de eletrodos especiais feitos de zircônio, háfnio ou ligas de háfnio. Mesmo com o emprego de eletrodos especiais, a vida útil deles é bem menor que a dos eletrodos do processo de plasma convencional.

Segurança no processo

Durante a realização do corte plasma produz-se uma elevada concentração de calor, que é própria do processo. Além disso, as altas correntes utilizadas geram intenso nível de ruído e as operações produzem fumaça e gases tóxicos. Por isso, é preciso que haja nessas áreas de trabalho boa ventilação e sejam utilizados protetores de ouvido. Roupas apropriadas e uso de óculos escuros são também necessários, por causa da radiação ultravioleta.

Na tentativa de diminuir esses problemas de segurança, foi desenvolvida uma camada protetora com água ao redor da tocha de plasma conhecida como **mufla d´água**. Seu uso faz com que:

- o nível de ruído do processo de corte seja reduzido;
- a fumaça e os gases tóxicos fiquem confinados na barreira d´água;
- a intensidade de luz do arco plasma seja reduzida a níveis que não prejudiquem os olhos;
- a radiação ultravioleta seja reduzida.



Vamos ver agora se você aprendeu. Responda às perguntas e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta certa.

Exercício 1

O estado físico da matéria conhecido como quarto estado da matéria chama-se:

a) ( ) sólido;
b) ( ) vapor;
c) ( ) plasma;
d) ( ) gás.

Exercício 2

Quando acrescentamos energia a um gás, as propriedades térmicas e elétricas desse gás são alteradas. A esse processo dá-se o nome de:

a) ( ) ionização;
b) ( ) gaseificação;
c) ( ) purificação;
d) ( ) eletrificação.

Exercício 3

O surgimento do processo de corte a arco plasma ocorreu a partir de pesquisas sobre:

a) ( ) chamas;
b) ( ) eletrodos;
c) ( ) energia;
d) ( ) soldagem.

Exercício 4

As características do arco plasma variam de acordo com:

a) ( ) ar comprimido, erosão, eletricidade e vapor;
b) ( ) peça de trabalho, corrosão, metal e oxigênio;
c) ( ) gás, vazão, bico de saída e tensão do arco elétrico;
d) ( ) plasma, bico, arco e temperatura.

Exercício 5

O corte plasma com ar comprimido é bastante usado porque proporciona:

a) ( ) bom acabamento e equipamento sofisticado;
b) ( ) diminuição de velocidade de corte;
c) ( ) pouca oxidação;
d) ( ) corte econômico e aumento de velocidade de corte.

AULA

65

Metalurgia do pó

A metalurgia do pó, também chamada **sinterização**, é o ramo da indústria metalúrgica que se dedica à produção de peças a partir de pós metálicos e não-metálicos.

Embora pesquisas arqueológicas mostrem que o homem já produzia armas, lanças e ferramentas a partir de aglomerados de ferro, há cerca de 6000 anos a.C., somente no século XIX foram dados os primeiros passos para o desenvolvimento da moderna metalurgia do pó.

O ano de 1829 representa um marco na história da metalurgia do pó, pois data desse período a produção de peças de platina maleável, material que até então não podia ser processado por fundição normal, em razão do seu alto ponto de fusão (cerca de 1.775°C).

No início do século XX, foram desenvolvidos processos para obtenção de peças de tungstênio e de molibdênio por sinterização. Mas a produção só se expandiu mesmo após a Segunda Guerra Mundial, para atender à demanda da florescente indústria automobilística.

Hoje são inúmeras as aplicações industriais de peças produzidas por sinterização. Esta tecnologia, comparada à metalurgia convencional, tornou-se competitiva tanto por razões tecnológicas quanto por razões econômicas. Onde for preciso produzir grandes quantidades de peças, de formas complexas, sempre haverá espaço para a metalurgia do pó.

Se você quiser saber mais sobre a metalurgia do pó, estudar os assuntos desta aula será um bom caminho. Você ficará conhecendo as etapas do processo de produção baseado na metalurgia do pó, poderá analisar as vantagens e desvantagens desta tecnologia e descobrirá suas principais aplicações.

Nossa aula

Por que utilizar a metalurgia do pó

Observe, com atenção, as peças a seguir. Você consegue imaginar quantas operações seriam necessárias para produzi-las pelos processos convencionais de usinagem? É capaz de avaliar quanto cavaco seria gerado? Acha que seria

possível produzir 2.000 peças iguais a qualquer uma dessas, por dia? Quantas pessoas e máquinas seriam necessárias para dar conta da encomenda?

A metalurgia do pó é uma alternativa que torna possível esta produção com uma única prensa e um operador, com o máximo aproveitamento da matéria-prima.

Essa tecnologia baseia-se na prensagem de pós em moldes metálicos e consolidação da peça por aquecimento controlado. O resultado é um produto com a forma desejada, bom acabamento de superfície, composição química e propriedades mecânicas controladas.

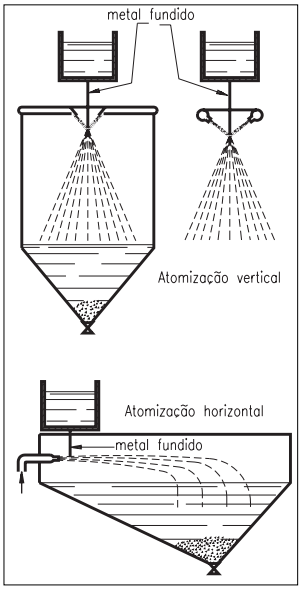
A seguir, você ficará conhecendo mais detalhes sobre as etapas do processo da metalurgia do pó.

Etapas do processo

O processo de produção da metalurgia do pó envolve três etapas fundamentais: a obtenção dos pós, a compactação e a sinterização propriamente dita.

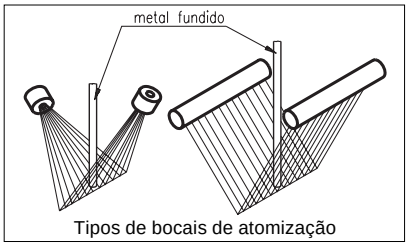
Obtenção do pó

O tamanho, a forma e a distribuição dos grãos são características importantes na produção de peças sinterizadas e variam conforme o método de obtenção do pó. Os métodos de obtenção podem ser mecânico, químico, físico e físico-químico. Dependendo das características desejadas do grão, mais de um método pode ser empregado sucessivamente.



Um dos métodos físicos mais usados é a **atomização**. O metal fundido é vazado por um orifício, formando um filete líquido que é "bombardeado" por jatos de ar, de gás ou de água.

Esses jatos saem de bocais escolhidos de acordo com o formato de grão desejado e produzem a pulverização do filete de metal fundido e seu imediato resfriamento.



Tipos de bocais de atomização

Depois, o pó é recolhido, **reduzido**, peneirado e está pronto para ser usado.

A espessura do filete, a pressão do fluido utilizado, as formas do conjunto de atomização, a configuração do bocal de atomização e o tipo de atomização determinam o tamanho e forma das partículas do material pulverizado.

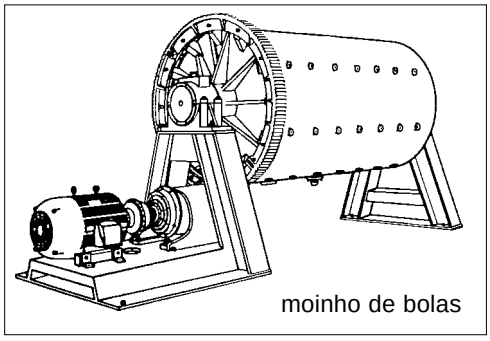
Um método físico-químico utilizado, principalmente para a produção de pós de cobre, é a **eletrólise**. O metal, na forma sólida, é colocado num tanque e dissolvido numa solução eletrolítica, na qual passa uma corrente elétrica.

Reduzido: Submetido a reação química em que o átomo recebe elétrons de outros átomos, pela ação de um agente redutor que pode ser sólido ou gasoso.
Eletrólise: reação não espontânea que produz a decomposição de uma substância, em solução aquosa ou fundida, por meio de corrente elétrica.

Os pós obtidos por esse processo apresentam elevado grau de pureza.

Depois de recolhida do tanque de eletrólise, a massa de pó, em forma de lama, é neutralizada, secada , reduzida e classificada por peneiramento. Para obtenção de grãos menores, este processo é complementado por métodos mecânicos.

Podem ser obtidos também por meio da **pirólise**, um método **físico-químico** que consiste na decomposição de uma substância por ação do calor.

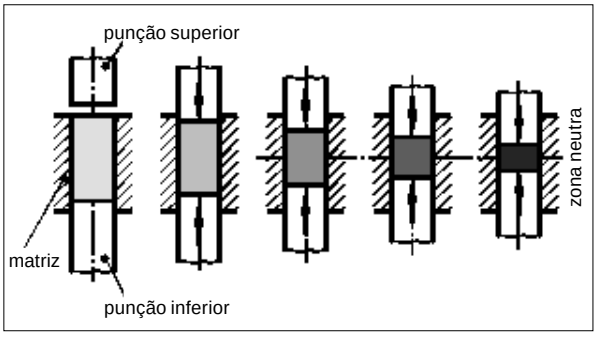

moinho de bolas

Entre os **métodos mecânicos** para obtenção de pós, um dos mais usados é a **moagem**. Em geral, ela é feita num equipamento chamado moinho de bolas, que consiste num tambor rotativo contendo esferas metálicas de material resistente ao desgaste. Quando o tambor gira, as esferas chocam-se umas contra as outras, desintegrando gradativamente o material que se encontra no interior do tambor.

Os pós podem ser obtidos também por **métodos químicos**, como a **corrosão**, que produz a oxidação do metal pelo ataque de ácidos ou bases, ou a **redução** de óxidos metálicos pelo emprego de hidrogênio ou monóxido de carbono.

Compactação

Nesta etapa, uma quantidade predeterminada de pó é colocada na cavidade de uma matriz montada em uma prensa de compressão, que pode ser mecânica ou hidráulica. A compactação ocorre por deslocamentos simultâneos dos punções superior e inferior, à temperatura ambiente. Veja abaixo a seqüência dessa operação.



Nos primeiros movimentos do punção superior e do punção inferior, a compactação causa apenas o adensamento do pó, sem deformação das partículas e sem produzir adesão entre elas. Se o processo for interrompido, o pó não manterá uma forma com contornos definidos.

O aumento da pressão provocará deformação plástica das partículas. As partes mais finas de cada partícula sofrerão deformação ou quebra, que favorece o entrelaçamento dos grãos, produzindo uma espécie de "solda fria".

Com o aumento da compressão, o atrito do material contra as paredes da matriz e a fricção interna das partículas elevam a densidade do material aos valores desejados.

Após a compactação, a peça é chamada de "compactado verde". A consistência do compactado verde faz lembrar a de uma paçoca de amendoim, que deve ser manuseada com cuidado para não se quebrar. A densidade e a resistência são duas características importantes nesta etapa, pois influenciam as propriedades mecânicas da peça final.

Atenção: cuidado com a "zona neutra"!

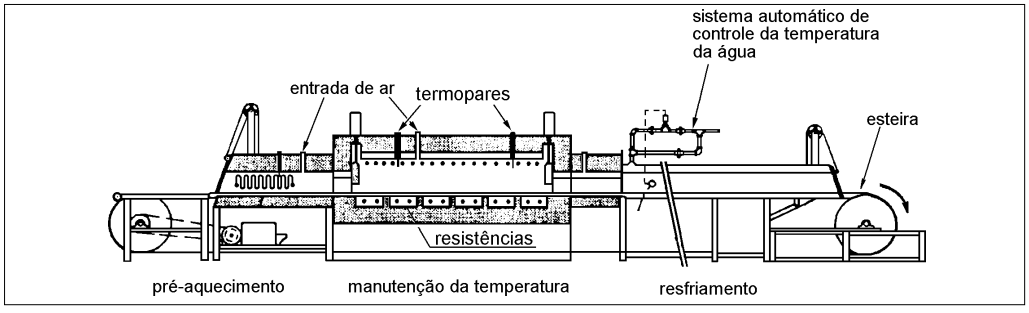
A **zona neutra** é a região do compactado verde em que as partículas menos sofreram a ação das forças de compactação. Dependendo da geometria da peça, a localização da zona neutra torna inviável a produção de uma peça por sinterização, pois não se consegue, em torno dessa zona, um grau de compactação compatível com as outras regiões da peça.

Sinterização

Esta é a etapa de consolidação final da peça. A massa de partículas, na forma de compactado verde ou confinada em moldes, é aquecida a temperaturas altas, mas abaixo do ponto de fusão do **metal base**, sob condições controladas de temperatura, velocidade de aquecimento e resfriamento, tempo de permanência e atmosfera.

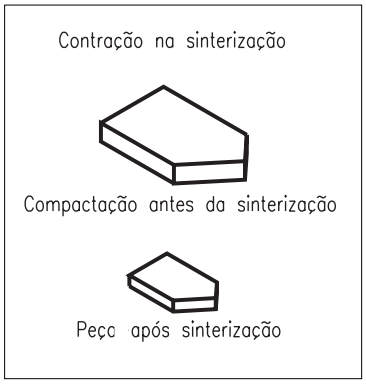
Metal base: é o metal principal do processo e determina as características básicas do produto final.

A sinterização é feita, normalmente, em fornos contínuos, caracterizados por três zonas de operação: preaquecimento, manutenção da temperatura e resfriamento. A figura a seguir mostra uma vista esquemática de um forno desse tipo.



Nesta etapa, ocorre a ligação química e metalúrgica das partículas do pó, o que reduz ou até mesmo elimina a porosidade existente no compactado verde. Este passa a formar um corpo coerente, que apresenta as propriedades típicas dos produtos sinterizados.

Na sinterização ocorre, normalmente, uma deformação do compactado, que se contrai, podendo chegar a uma redução de 40% do seu volume inicial ou a uma redução linear de cerca de 16%.



AULA
65

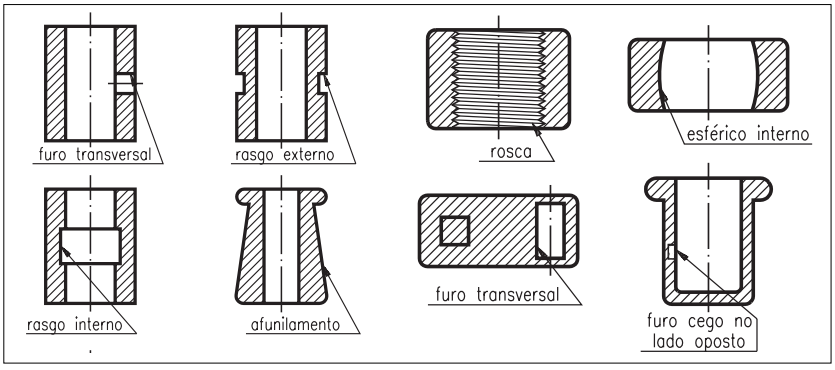
Operações complementares

Depois da sinterização, a peça ainda pode passar por processos de **recompressão**, **tratamentos térmicos** e **usinagem**, ou ser imediatamente utilizada.

A **recompressão** é necessária para garantir tolerâncias apertadas, rugosidade prevista etc. Deve ser feita quando, durante a sinterização, a deformação da peça ultrapassa os limites estabelecidos.

> **Atenção!**
> Pastilhas de metal duro não devem ser recomprimidas. Havendo deformação, devem ser lapidadas ou retificadas.

Peças sinterizadas podem ser **tratadas termicamente**, do mesmo modo que as peças metálicas convencionais. Em tratamentos térmicos que conferem dureza apenas à camada superficial da peça, como a cementação e a nitretação, a densidade é um fator importante na difusão dos gases através dos seus poros. Pode ocorrer o endurecimento total da peça.



A usinagem de peças deve ser feita, sempre que for impossível conseguir a configuração geométrica ideal da peça diretamente nas matrizes e machos de compactação. É o caso de furos transversais, sangrias, roscas, reentrâncias transversais internas ou externas etc., como mostra a figura ao lado.

Principais aplicações

Filtros sinterizados

Uma das primeiras aplicações da tecnologia da metalurgia do pó se deu na fabricação de **filtros sinterizados**. Esses elementos filtrantes são formados por camadas superpostas de partículas arredondadas ou esféricas de pós metálicos, com diferentes tamanhos de grãos. A superposição das camadas de grãos forma um conjunto de "malhas" que se interceptam, dando porosidade ao material.

Os filtros sinterizados são bastante usados nas atividades industriais que ocorrem em altas temperaturas e requerem elevadas resistências mecânica e química. São aplicados na filtragem de gases, líquidos, óleos combustíveis e minerais. São também utilizados como abafadores de ruído e válvula corta-chamas .

Carboneto metálico

O carboneto metálico, também chamado de metal duro, é o mais conhecido produto da metalurgia do pó. Tem importância fundamental no campo das ferramentas de corte, peças de desgaste e brocas para perfuração de rochas. Nessas ferramentas, o metal duro é adaptado nas partes cortantes, na forma de pastilha.

Essas pastilhas possuem elevada dureza (quase igual à do diamante) e suportam temperaturas de até 1.000˚C sem sofrer perda de corte.

O metal duro pode ser produzido a partir do pó de tungstênio (W) puro, misturado ao pó de carbono (C) em proporções cuidadosamente controladas para garantir a correta composição. Na sinterização, esta mistura é levada a uma temperatura de cerca de 1.700˚C, que provoca a união do tungstênio e do carbono, dando origem às partículas duras do metal duro, representadas pelos carbonetos de tungstênio (WC).

O carboneto de tungstênio dissolve-se facilmente em cobalto (Co), o qual é adicionado à mistura, atuando como metal ligante. O resultado final combina as propriedades da partícula dura (resistência ao desgaste) com as propriedades do metal ligante (tenacidade).

Mancais autolubrificantes

Uma das características da sinterização é possibilitar o controle da porosidade do produto final. Esta característica é particularmente importante na produção de mancais autolubrificantes. A porosidade existente no mancal pode ser preenchida com óleo, para garantir uma lubrificação permanente entre o eixo e o mancal.

A metalurgia do pó veio para ficar

A sinterização é um processo em que a economia de material é levada ao extremo, com mínimas perdas de matéria-prima. Certas ligas podem ser obtidas pela metalurgia do pó a custos muitas vezes inferiores do que se fossem produzidas pela metalurgia convencional.

A possibilidade de conjugar peças simples e partes sinterizadas também representa um importante fator de economia de custos, com preservação de qualidade do produto final.

O controle exato da composição química desejada do produto final, a redução ou eliminação das operações de usinagem, o bom acabamento de superfície, a pureza dos produtos obtidos e a facilidade de automação do processo produtivo são alguns dos motivos que tornaram a metalurgia do pó uma fonte produtora de peças para praticamente todos os ramos da indústria, como o automobilístico, o de informática, o aeroespacial, o de material eletroeletrônico, o de equipamentos e implementos agrícolas, o têxtil e tantos outros.

Entretanto, algumas limitações ainda não superadas tornam a metalurgia do pó uma solução inviável em algumas situações.

A peça tem de ser extraída de uma matriz. Isso dificulta a produção de peças com certas características geométricas, já citadas anteriormente (rasgos transversais), que devem ser obtidas por usinagem posterior.

O custo de produção do ferramental (matriz e macho) é muito elevado. Por isso, só se justifica a escolha desse processo quando o volume de produção requerido for muito grande.

A maioria das peças sinterizadas pesa menos de 2,5 kg. Peças maiores, com até 15 kg, podem ser fabricadas. Porém, o tamanho da peça é um limitador importante, uma vez que as potências de compactação são proporcionais à área da seção transversal das peças. Grandes peças exigem máquinas de elevada potência de compactação, muitas vezes acima das opções disponíveis.

Talvez você não tenha se dado conta, mas é provável que já venha utilizando peças sinterizadas em muitos dos equipamentos e dispositivos que usa no dia-a-dia. Fazer uma pesquisa para descobrir até que ponto a metalurgia do pó faz parte da sua vida poderá ser uma maneira interessante de conhecer e avaliar, na prática, as características dos produtos sinterizados. E, para consolidar os conhecimentos obtidos nesta aula, resolver os exercícios a seguir será uma boa idéia.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

As etapas básicas do processo de produção pela metalurgia do pó são:

a) .....

b) .....

c) .....

Exercício 2

Para que serve o método de atomização?

Exercício 3

Descreva o funcionamento do método de moagem.

Exercício 4

O que é o compactado verde?

Exercício 5

Por que, em alguns casos, a peça tem de ser recomprimida após a sinterização?

AULA

66

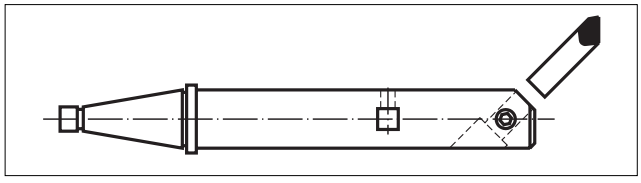
Mandrilamento

Nesta aula, você vai tomar contato com o processo de mandrilamento. Conhecerá os tipos de mandrilamento, as ferramentas de mandrilar e as características e funções das mandriladoras. Vamos lá?

O que é mandrilamento

Nossa aula

Mandrilamento é um processo mecânico de usinagem de superfícies de revolução, com o auxílio de uma ou mais ferramentas de corte. Nessa operação, a ferramenta de corte é fixada a uma **barra de mandrilar** em um certo ângulo, determinado pela operação a ser realizada. A figura a seguir mostra um exemplo de barra de mandrilar, também chamada de **mandril**.

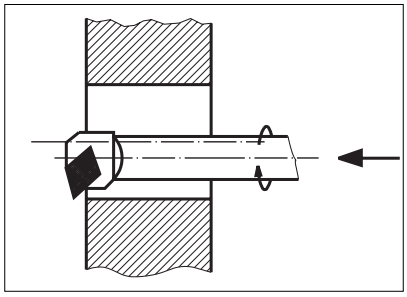


mandril

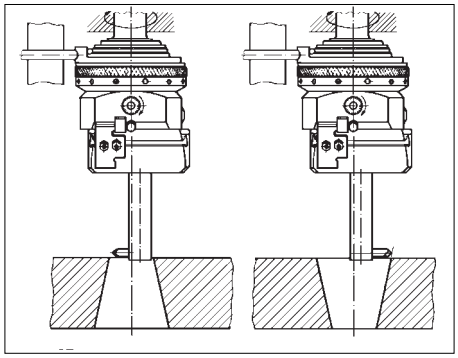
Tipos de mandrilamento

Dependendo do trabalho, o mandrilamento, também conhecido como **mandrilagem** ou **broqueamento**, pode ser cilíndrico, cônico, radial ou esférico. Pelo mandrilamento pode-se conseguir superfícies cilíndricas ou cônicas, internas, em espaços normalmente difíceis de serem atingidos, com eixos perfeitamente paralelos entre si. As figuras a seguir mostram exemplos desses tipos de mandrilamento.

O mandrilamento cilíndrico é o processo em que a superfície usinada é cilíndrica e o seu eixo de rotação coincide com o eixo em torno do qual a ferramenta gira.

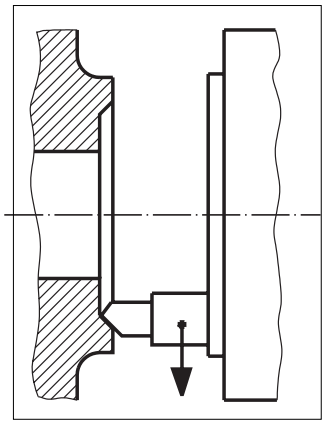


mandrilamento cilíndrico



O mandrilamento cônico é o processo em que a superfície usinada é cônica e seu eixo de rotação coincide com o eixo em torno do qual a ferramenta gira.

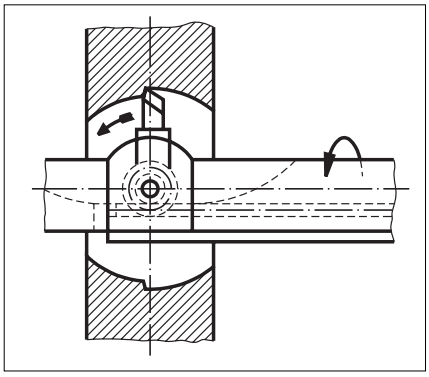
mandrilamento cônico



O mandrilamento radial é o processo em que a superfície usinada é plana e perpendicular ao eixo em torno do qual gira a ferramenta.

mandrilamento radial

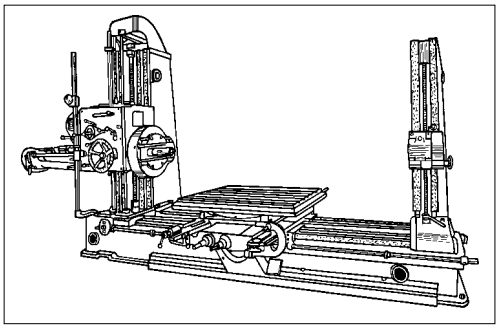
O mandrilamento esférico é o processo em que a superfície usinada é esférica e o eixo de rotação coincide com o eixo em torno do qual a ferramenta gira.



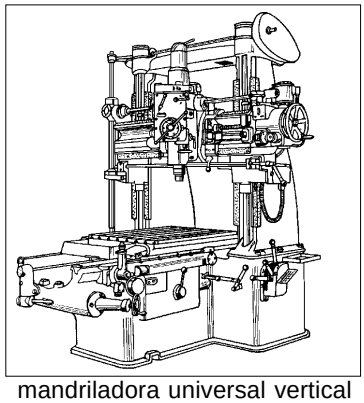
mandrilamento esférico

Mandriladoras

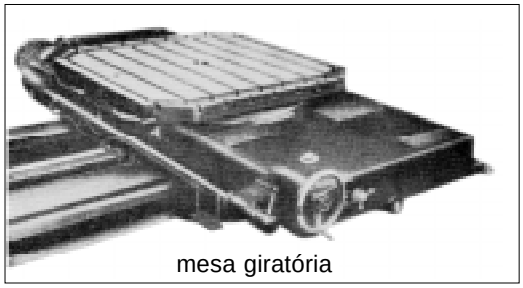
As mandriladoras são máquinas especiais que permitem a adaptação de diferentes tipos de ferramentas. Com o acoplamento de acessórios apropriados, a mandriladora, além do mandrilamento, pode ser utilizada para furar, fresar, rosquear etc., tornando-se, nesses casos, uma máquina universal. Dependendo da posição do eixo-árvore, as mandriladoras podem ser horizontais ou verticais, como mostram as figuras.



mandriladora universal horizontal



mandriladora universal vertical


mesa giratória

Em máquinas como essas usinam-se grandes carcaças de caixas de engrenagens e estruturas de máquinas. Uma peça com forma prismática pode ser usinada em todas as suas quatro faces verticais porque a mandriladora tem uma mesa giratória que possibilita a usinagem em todos os lados.

A mandriladora pode realizar um grande número de movimentos. É possível posicionar a ferramenta para usinar um furo ajustando-se o cabeçote em determinada altura, e a mesa em posição transversal. Todos os deslocamentos são indicados em escalas graduadas. Nas mandriladoras mais modernas, as escalas possuem equipamentos de leitura óptica ou contadores numéricos digitais, que permitem maior exatidão no trabalho.

A vantagem do uso dessa máquina é a economia de tempo. A mandriladora universal tem a capacidade de processar todas as operações necessárias de usinagem, do começo ao fim, do desbaste ao acabamento, sem que haja necessidade de remover a peça da máquina.

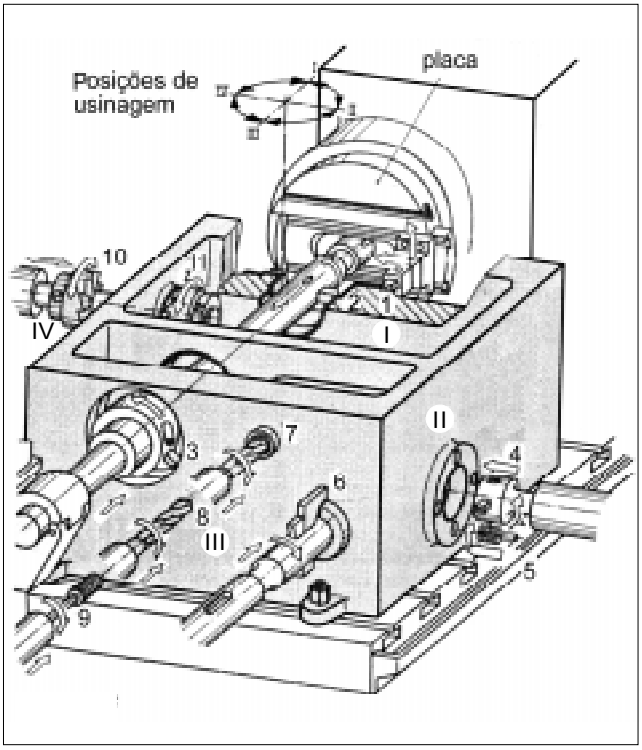
Se, por exemplo, temos a necessidade de usinar a carcaça de uma caixa de engrenagens, ela é colocada na mandriladora apoiada na mesa giratória. A mesa gira e, assim, permite o giro da carcaça em torno do seu eixo vertical. Desse modo, são executadas todas as operações necessárias, como corte, rosqueamento, cada uma a seu tempo.

A seguir, você tem uma demonstração de seqüência de operações realizadas por uma mandriladora universal numa caixa de engrenagem. Analise a figura passo a passo, acompanhando as indicações abaixo.

Na posição **I**, marcada na face posterior da peça, são realizadas as operações numeradas com 1, 2 e 3, nessa ordem. A operação 1 consiste num mandrilamento radial. As operações 2 e 3 correspondem a mandrilamentos cilíndricos simultâneos. Observe que a extremidade da barra de mandrilar está apoiada sobre um mancal, para evitar deslocamentos da ferramenta durante a operação.

Na posição **II**, marcada na face lateral direita, são feitas as operações 4 e 5, que compreendem um furo mandrilado com flange e os furos roscados do flange, respectivamente.

Na posição **III**, marcada na face frontal, é feito primeiro o furo identificado como operação 6. Repare no dispositivo especial acoplado à ferramenta, para fazer a bolacha desse furo. O furo mais acima, nessa mesma face, requer três operações: 7, 8 e 9. O furo identificado com o número 3 já havia sido feito na primeira posição, lembra-se?

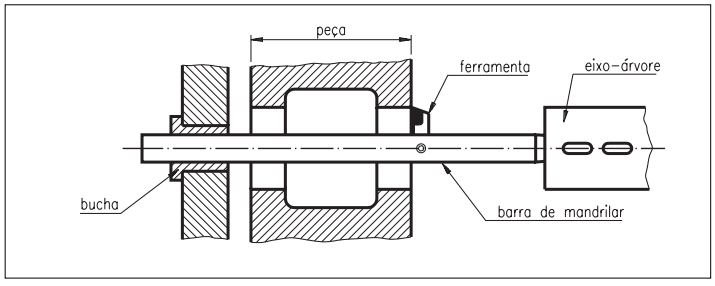


Finalmente, na posição **IV**, são feitas as operações 10 e 11, ou seja, o mandrilamento e o fresamento da face.

Ferramentas da mandriladora

As ferramentas de mandrilar são selecionadas em função das dimensões (comprimento e diâmetro) e características das operações a serem realizadas. Elas têm pequenas dimensões porque, geralmente, trabalham no interior de furos previamente executados por brocas. São feitas de aço rápido ou carboneto metálico e montadas em uma **barra de mandrilar**.

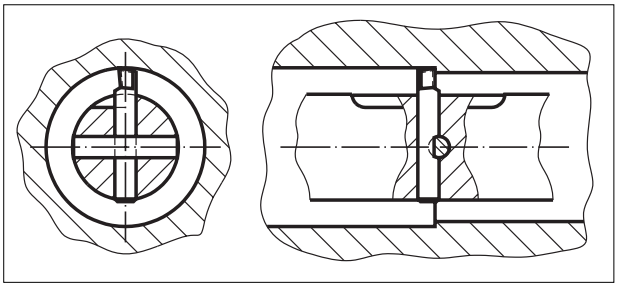
A barra de mandrilar deve ser rígida, cilíndrica, sem defeito de retilineidade. Deve ser bem posicionada no eixo-árvore, para possibilitar a montagem de buchas que formam mancais, como mostra a próxima figura, evitando com isso possíveis desvios e vibrações durante o uso.



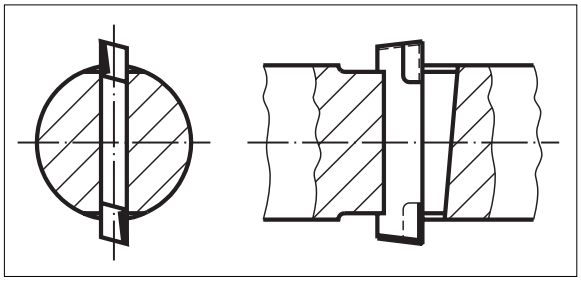
barra de mandrilar montada com buchas

As ferramentas de uso mais comum nas mandriladoras são:

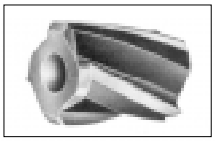
- **hastes com pastilhas soldadas de corte simples**, usadas para desbastar;



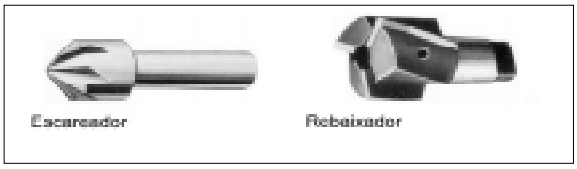
- **lâminas de corte duplo**, usadas para fazer rebaixos internos de furos;



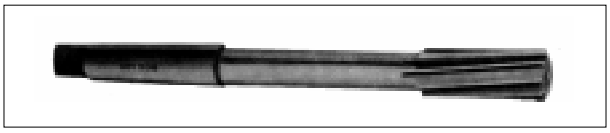
- **brocas helicoidais de correção**, usadas para corrigir deformações, como ovalização, conicidade e retilineidade, e na operação de pré-alargamento de furos de até 100 mm;



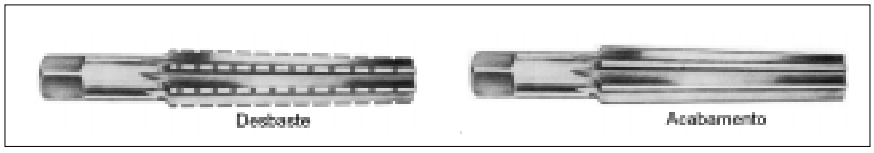
- **escareadores** e **rebaixadores**, usados no trabalho de alojamento e rebaixo de furos previamente executados por brocas comuns;



- **alargadores fixos**, usados para calibrar furos;

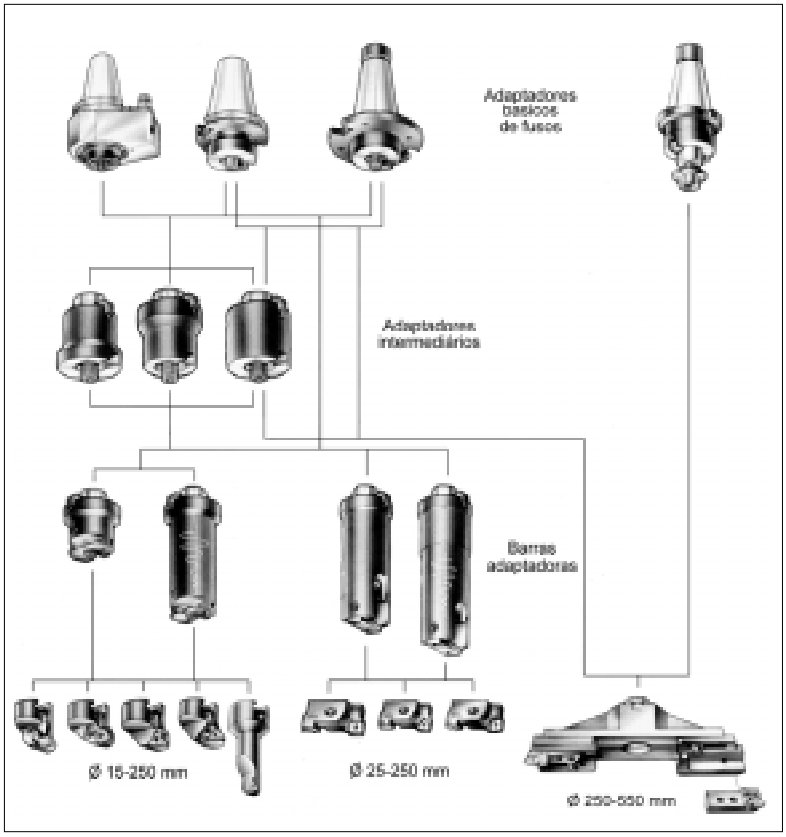


- **alargadores cônicos**, usados para alargar superfícies cônicas internas. Esses alargadores podem ser **de desbaste** e **de acabamento**.



Sistema modular

As paradas de máquina para troca de ferramentas representam tempo ocioso que reflete nos custos de produção. Atualmente, um novo conceito em ferramentas de mandrilamento é utilizado na indústria, em que um **sistema modular de ferramental** permite reduzir o tempo gasto nas trocas de ferramentas, mantendo a exatidão no trabalho.



O sistema modular possibilita dispor de um conjunto de ferramentas com partes modulares intercambiáveis. Veja na figura ao lado uma série dessas ferramentas.

O único componente específico de máquina em todo esse arranjo é o adaptador de fuso. Para operar com esse sistema, reúnem-se blocos elementares de dispositivos, como extensões, reduções, diferentes cabeçotes de mandrilar e acessórios. Quando um sistema modular é bem desenvolvido, ele possibilita solução mais rápida para praticamente todos os problemas de mandrilamento.

Vamos ver agora o que você aprendeu. Faça os exercícios e depois confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Quanto ao tipo, o mandrilamento pode ser:

a) ( ) esférico, cúbico e linear;
b) ( ) horizontal, vertical e inclinado;
c) ( ) cilíndrico, cônico, radial e esférico;
d) ( ) por avanço, por retrocesso e por tração.

Exercício 2

Algumas ferramentas mais usadas para mandrilar são:

a) ( ) martelo, chave de fenda, alargador;
b) ( ) esfera retificada, aparadores radiais e mandris;
c) ( ) ferramentas de fixação angular e de regulação automática;
d) ( ) lâminas de corte duplo, alargadores cônicos e escareadores.

Exercício 3

Uma das vantagens de utilizar o sistema modular de ferramentas de mandrilamento é:

a) ( ) alargar os furos feitos por brocas;
b) ( ) reduzir o tempo gasto na troca de ferramentas;
c) ( ) relacionar máquinas que atuam com diferentes peças;
d) ( ) fazer conexão entre diferentes partes de uma peça.

Exercício 4

Quanto a posição de trabalho, as mandriladoras podem ser verticais ou horizontais devido a:

a) ( ) possibilidade de adaptação de diferentes tipos de ferramentas;
b) ( ) posição do eixo-árvore;
c) ( ) possibilidade de usinar a peça sem removê-la da máquina;
d) ( ) disponibilidade de mesa giratória, que permite a usinagem em qualquer ângulo.

Exercício 5

A economia de tempo proporcionada pela operação de mandrilamento ocorre principalmente devido a:

a) ( ) mesa giratória que permite uma única fixação da peça;
b) ( ) utilização de ferramentas de aço rápido e carboneto metálico;
c) ( ) utilização de barras de mandrilar rígidas, cilíndricas, sem defeito de retilineidade;
d) ( ) acoplamento de buchas às barras de mandrilar.

AULA

67

Brochamento

Nesta aula você terá uma visão geral de uma operação muito utilizada em usinagem chamada **brochamento**. Você vai saber como é feita essa operação e quais as ferramentas e máquinas utilizadas para brochar. Finalmente, você conhecerá os fluidos usados e alguns cuidados que devem ser tomados para conservação das ferramentas.

O que é brochamento

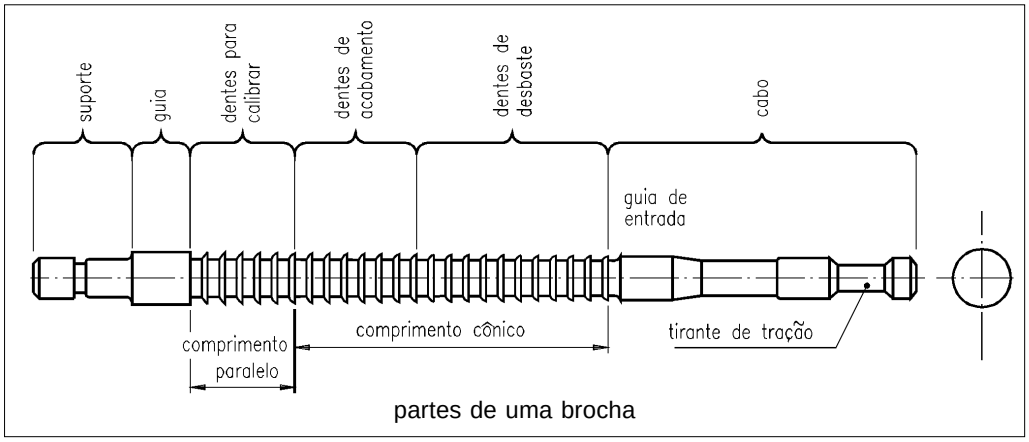
Nossa aula

Brochamento ou **brochagem** consiste em remover material da superfície de uma peça, de forma progressiva, pela ação ordenada dos fios de corte, dispostos em série, de ferramentas multicortantes. Essas ferramentas, que se deslocam segundo uma trajetória retilínea, chamam-se **brochas** e a máquina que realiza a operação é a **brochadeira** ou **brochadora**.

Brocha

Em geral, a brocha é feita de aço, provida de dentes, formando uma série de elementos cortantes, para trabalhar diversos tipos de materiais. Pode ser usada para aplainar ou gerar superfícies internas ou externas, de perfis regular ou irregular.

As brochas são temperadas e revenidas porque os dentes de sua superfície cortante são submetidos a grande esforço. Observe na figura a seguir, as partes em que essa ferramenta se divide.



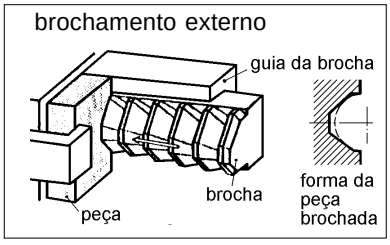
partes de uma brocha

AULA
67

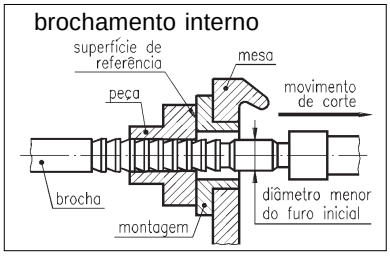
Existem brochas de vários tipos, dependendo do trabalho que se tem a realizar. Todas elas, entretanto, apresentam três partes distintas na região dos dentes para o corte progressivo: desbaste, acabamento e calibração.

Tipos de brochamento

A brochadeira é uma máquina com movimento retilíneo. Ela pode ser vertical ou horizontal, com comando mecânico ou hidráulico. Na brochadeira podem ser realizados dois tipos de brochamento: o **externo** e o **interno**.

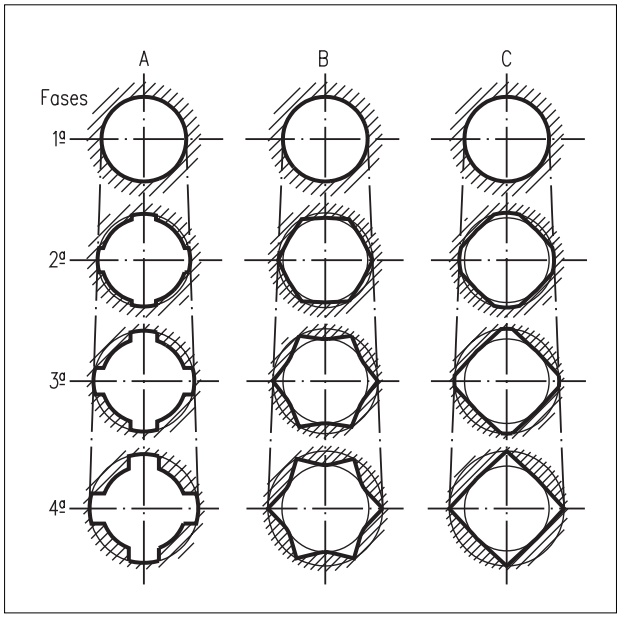


Brochamento externo – É uma operação feita sobre a superfície externa de uma peça, dando acabamento ou semi-acabamento a seus perfis.



Brochamento interno – É uma operação que permite modificar um furo vazado e transformar o perfil de uma peça. O objetivo dessa operação pode ser o de abrir cavidades para chavetas em furos cilíndricos ou o de transformar perfis de furos cilíndricos em perfis acanelados, estriados, quadrados, hexagonais etc. Essa operação é feita num furo aberto anteriormente por um outro processo qualquer.

No processo de brochamento, a transformação de um perfil é feita gradativamente porque os elementos de corte da brocha têm tamanhos que aumentam gradativamente ao longo de seu comprimento. A figura a seguir apresenta três exemplos de fases da transformação.



As brochas podem realizar uma operação completa de usinagem, desde o desbaste grosseiro até o acabamento. O brochamento permite obter um bom acabamento nas peças trabalhadas, dispensando, geralmente, usinagens posteriores.

Velocidade de corte

A velocidade de corte no brochamento é determinada em função de vários elementos, como o perfil da aresta cortante, os ângulos de incidência de corte, o material da peça, a profundidade de corte etc.

A Tabela 1 mostra a relação entre diferentes materiais e a velocidade de corte com uma brocha de aço rápido.

MATERIAL	VELOCIDADE DE CORTE
Aço de 500 a 700N/mm²	5 - 8m/min
Aço de 700 a 800N/mm²	3 - 6m/min
Aço de 800 a 900N/mm²	1 - 3m/min
Ferro maleável	5 - 9m/min
Ferro fundido	6 - 9m/min
Latão, bronze	8 - 12m/min
Alumínio	10 - 14m/min
Zinco(fundido sob pressão) magnésio	20 - 30m/min

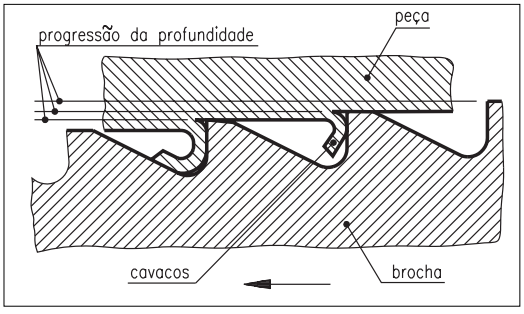
Para brochas de outros materiais, essas velocidades devem ser multiplicadas pelos fatores da Tabela 2, em função da dureza do material da peça que será brochada.

FATORES DE MULTIPLICAÇÃO DOS VALORES DA VELOCIDADE DE CORTE (M/MIN)			
MATERIAL DA BROCHA	DUREZA BRINELL DO MATERIAL DA PEÇA		
	até 160	160 - 220	220 - 360
Aço ao carbono	0,50	0,50	0,50
Aço rápido	1,00	1,00	1,00
Aço rápido, com 5% de cobalto	1,10	1,15	1,20
Aço rápido, com 8% de cobalto	1,15	1,25	1,30
Aço rápido, com 12% de cobalto	1,25	1,40	1,50
Ligas ultra-rápidas (Stellite, Crobalt Rexalloy)	1,60	1,80	2,00
Carburetos sinterizados (Firthite, Carboloy, Kennametal, etc.) *	2,00 - 2,50	2,50 - 3,00	3,50 - 4,00
* Utilizar os fatores maiores quando usinar aço, e os menores para os demais materiais. Esses valores são considerados conservadores, podendo, na prática, ser ultrapassados, porém, é preferível iniciar com velocidades moderadas.			

Cavaco

Durante a usinagem, o cavaco de uma superfície é arrancado em linha reta e progressivamente pela sucessão ordenada das arestas de corte. Como essas arestas de corte se dispõem em torno do corpo cônico da ferramenta, elas cortam quantidades distintas e definidas de material.

O alojamento correto do cavaco, bem como a afiação da ferramenta é um fator de redução do esforço de corte. Quando a afiação e o alojamento estão incorretos, o cavaco se quebra antes da sua formação completa, aumentando o esforço de corte. Se o alojamento for insuficiente para o volume de cavaco, haverá um aumento do esforço de corte, o que provocará a quebra da ferramenta.



AULA
67

Fluidos usados no brochamento

Durante a operação de brochar, devem ser empregados fluidos para refrigeração do corte. As funções específicas que eles desempenham são:

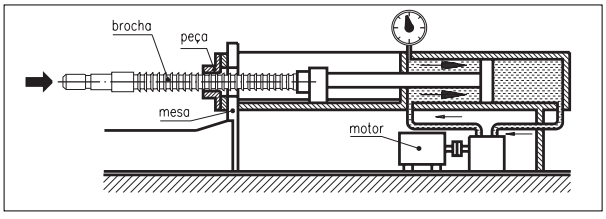
- lubrificar as cavidades dos dentes da brocha, reduzindo o atrito entre o cavaco e a ferramenta e diminuindo o desgaste;
- absorver o calor gerado durante o corte pelo atrito da plataforma dos dentes da brocha sobre a superfície da peça;
- remover os cavacos que ficam impregnados nos dentes da brocha.

A importância desses fluidos no processo se relaciona com o aumento da vida útil das ferramentas de corte. O quadro indica os líqüidos ideais para cada tipo de material no processo de brochamento.

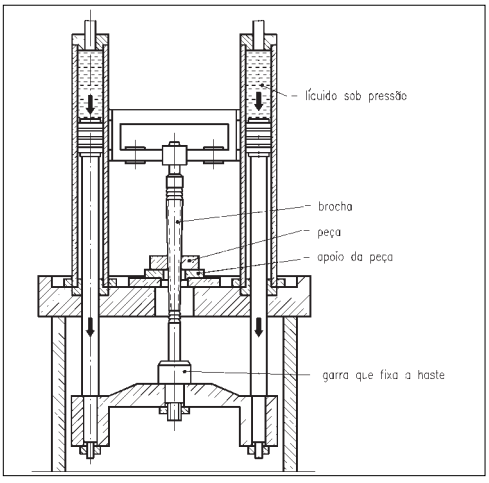
REFRIGERAÇÃO DO CORTE	
Materiais brochados	**Líquidos para o corte**
Aços sem ligas ou com poucas ligas	Óleo mineral com base de enxofre ou misturas de óleos graxos
Aços inoxidáveis ou com alta percentagem de ligas	Óleo mineral com base de enxofre e tetracloreto de carbono
Ferros fundidos Latões - Bronzes	Óleo solúvel e parafina ou trabalho a seco Óleo solúvel puro ou óleo mineral com base de enxofre
Ligas leves	Óleo solúvel (ligas pouco siliciosas) Óleo mineral (ligas siliciosas)

Tipos de brochadeira

Existem brochadeiras que comprimem o objeto a ser trabalhado, outras que tracionam e outras ainda que tracionam e comprimem. As brochadeiras que comprimem são quase sempre verticais, e as que usam tração são horizontais.



Brochadeira horizontal – Apresenta a vantagem de possibilitar o trabalho com ferramentas de grande comprimento. É bastante utilizada na indústria mecânica.



No trabalho por força de tração, que utiliza ferramentas de longo comprimento, a montagem do material na brochadeira deve ser feita com cuidado para evitar a flexão da brocha devido ao seu próprio peso.

Brochadeira vertical – As brochadeiras que comprimem são quase sempre verticais. Entretanto, podem também tracionar e, em alguns casos, utilizar ambas as forças, tanto para brochamento interno quanto externo. Quando não se dispõe de grande espaço físico, a brochadeira vertical é a mais indicada devido a sua característica estrutural.

Existem máquinas de cabeçotes múltiplos que podem executar operações em várias peças simultâneamente.

Vamos ver agora o que você aprendeu. Faça os exercícios e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a única resposta certa.

Exercício 1

Para as brochas suportarem grandes esforços, elas precisam do seguinte tratamento:

a) ( ) nitretação e cementação;
b) ( ) usinagem e polimento;
c) ( ) fresagem e retificação;
d) ( ) têmpera e revenimento.

Exercício 2

As 3 partes distintas na região dos dentes de corte da brocha chamam-se:

a) ( ) suporte, trefilação e corte;
b) ( ) remoção, laminação e polimento;
c) ( ) desbaste, acabamento e calibração;
d) ( ) cabo, guia e suporte.

Exercício 3

Os fluidos de refrigeração são usados no brochamento para:

a) ( ) reduzir o atrito entre o cavaco e a ferramenta;
b) ( ) melhorar o deslizamento das lâminas de corte;
c) ( ) refrigerar a brocha e afiar as lâminas;
d) ( ) lubrificar a brochadeira para aumentar sua vida útil.

Exercício 4

No brochamento, os fatores que influenciam a redução do esforço de corte são:

a) ( ) o perfil da aresta cortante e os ângulos de incidência de corte;
b) ( ) a afiação da ferramenta e o alojamento correto do cavaco;
c) ( ) a dureza da ferramenta em comparação com a dureza da peça;
d) ( ) a lubrificação e a refrigeração da peça e da ferramenta.

Exercício 5

No brochamento, o movimento de corte acontece de forma:

a) ( ) retilínea alternativa;
b) ( ) rotativa concordante;
c) ( ) rotativa discordante;
d) ( ) retilínea.

AULA

68

Usinagem por eletroerosão

Suponha que um amigo seu, que vai patrocinar uma importante competição esportiva, esteja encarregado de providenciar um grande número de medalhas.

O problema é que seu amigo não sabe qual é o melhor processo para confeccionar essas medalhas e está pedindo a sua ajuda.

Na sua opinião, qual dos processos de usinagem que você conhece é o mais adequado para essa finalidade?

Uma coisa é certa: seria muito trabalhoso e caro entalhar essas medalhas uma a uma. Na verdade, a produção ficaria mais viável com a utilização de um molde, obtido a partir de um processo denominado **eletroerosão**.

A **eletroerosão** baseia-se na destruição de partículas metálicas por meio de descargas elétricas.

Data de meados do século XVIII a descrição de um processo para obtenção de pó metálico mediante descargas elétricas.

Mas este processo só passou a ser utilizado industrialmente há cerca de sessenta anos, para a recuperação de peças com ferramentas quebradas em seu interior (machos, brocas, alargadores).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de acelerar a produção industrial e a escassez de mão-de-obra impulsionaram a pesquisa de novas tecnologias, visando tornar possível o aumento da produção, com um mínimo de desperdício. Esse esforço marcou o início, entre outras realizações, da era da eletroerosão.

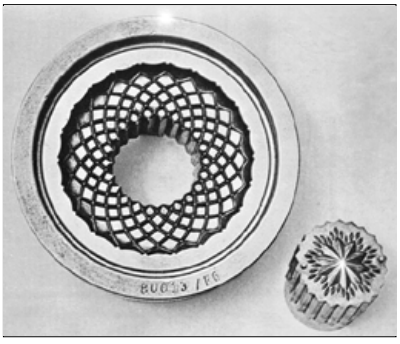
Estudando os assuntos desta aula, você conhecerá as aplicações da eletroerosão na indústria, os princípios deste processo e ficará sabendo como são confeccionados os eletrodos usados nas máquinas de eletroerosão.

A explosão da eletroerosão

Este é um dos processos não tradicionais de usinagem que vêm ganhando espaço ultimamente. Várias razões explicam esse crescimento.

Pense, por exemplo, nos novos materiais que têm surgido, como os carbonetos metálicos, as superligas e as cerâmicas. Trata-se, geralmente, de materiais muito duros. Você já imaginou a dificuldade que seria usiná-los pelos processos tradicionais?

Imagine também a dificuldade que representaria a usinagem pelos métodos tradicionais de uma peça com formas tão complexas como a mostrada abaixo.



Brocas helicoidais são eficientes para produzir furos redondos. Mas que broca produziria um furo irregular como o da peça ao lado?

Por eletroerosão, o molde dessa peça pode ser produzido em uma só fase de operação.

Além disso, os processos tradicionais de usinagem geram calor e tensões na superfície usinada, produzem enormes cavacos e afetam as características estruturais da peça. Não são adequados, portanto, para produzir superfícies de alta qualidade, praticamente sem distorções e sem alterações microestruturais.

Já na usinagem por eletroerosão, a peça permanece submersa em um líquido e, portanto, há rápida dissipação do calor gerado no processo. Na eletroerosão não existe força de corte, pois não há contato entre a ferramenta e a peça. Por isso não se formam as tensões comuns dos processos convencionais de usinagem.

Uma vantagem adicional é a automatização das máquinas de eletroerosão, que permite a obtenção de estreitos limites de tolerância. No processo de eletroerosão, é possível um controle rigoroso da ação da ferramenta sobre a peça usinada, graças a um servomecanismo que reage rapidamente às pequenas variações de intensidade de corrente.

Tudo isso torna a eletroerosão um processo adequado para atender às exigências atuais de qualidade e produtividade, com grande aplicação na confecção de matrizes para estampos de corte, moldes de injeção, forjaria, cunhagem e fabricação de ferramentas de metal duro.

Mas o que é a eletroerosão, afinal? Você ficará sabendo ao estudar o próximo tópico.

AULA

68

Eletroerosão: um fenômeno invisível

A eletroerosão é um processo complexo, em grande parte não visível. Portanto, para entender esse processo, você terá de pôr sua imaginação para funcionar.

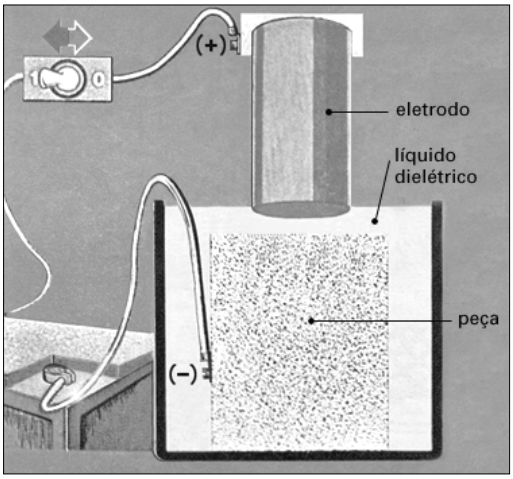
Para que a eletroerosão ocorra, é necessário que os materiais envolvidos (peça a ser usinada e a ferramenta) sejam bons condutores de eletricidade.

A ferramenta que produz a erosão, ou seja, o desbaste da superfície usinada, é o **eletrodo**.

Peça e eletrodo são mergulhados num recipiente que contém um fluido isolante, isto é, não condutor de eletricidade, chamado **dielétrico**. Em geral, são utilizados como dielétricos o óleo mineral e o querosene. O querosene requer cuidados especiais, pois é inflamável e exala um odor forte, prejudicial à saúde e ao ambiente.

Tanto a peça como o eletrodo estão ligados a uma fonte de corrente contínua, por meio de cabos. Geralmente, o eletrodo tem polaridade positiva e a peça, polaridade negativa.

Um dos cabos está conectado a um interruptor, que aciona e interrompe o fornecimento de energia elétrica para o sistema. A figura a seguir mostra um esquema simplificado do processo de eletroerosão.

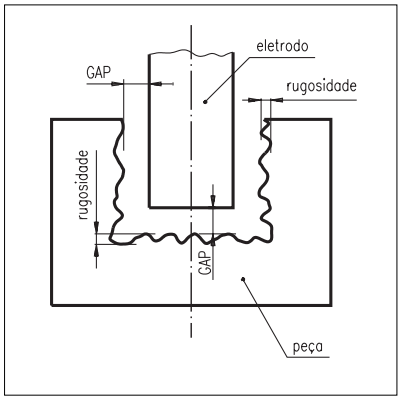


Ao ser ligado o interruptor, forma-se uma tensão elétrica entre o eletrodo e a peça. De início, não há passagem de corrente, já que o dielétrico atua como isolante.

Íons: partículas eletricamente carregadas. Chamam-se **cátions** quando carregadas positivamente e **ânions** quando carregadas negativamente.

Quando o espaço entre a peça e a ferramenta é diminuído até uma distância determinada, o dielétrico passa a atuar como condutor, formando uma "ponte" de **íons** entre o eletrodo e a peça.

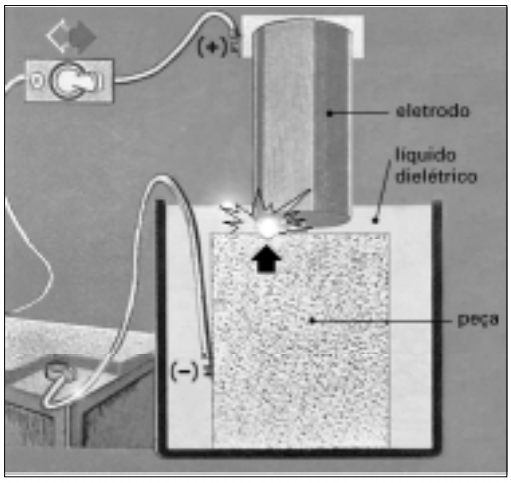
Produz-se, então, uma centelha que superaquece a superfície do material dentro do campo de descarga, fundindo-a. Estima-se que, dependendo da intensidade da corrente aplicada, a temperatura na região da centelha possa variar entre 2.500˚C e 50.000˚C.



O processo de erosão ocorre simultaneamente na peça e no eletrodo. Com ajustes convenientes da máquina, é possível controlar a erosão, de modo que se obtenha até 99,5% de erosão na peça e 0,5% no eletrodo.

A distância mínima entre a peça e a ferramenta, na qual é produzida a centelha, é chamada GAP (do inglês *gap* = folga) e depende da intensidade da corrente aplicada. O GAP é o comprimento da centelha.

O tamanho do GAP pode determinar a rugosidade da superfície da peça. Com um GAP alto, o tempo de usinagem é menor, mas a rugosidade é maior. Já um GAP mais baixo implica maior tempo de usinagem e menor rugosidade de superfície.



As partículas fundidas, desintegradas na forma de minúsculas esferas, são removidas da região por um sistema de limpeza e, no seu lugar, fica uma pequena cratera. O dielétrico, além de atuar como isolante, participa desta limpeza e ainda refrigera a superfície usinada.

O fornecimento de corrente é interrompido pelo afastamento do eletrodo. O ciclo recomeça com a reaproximação do eletrodo até a distância GAP, provocando uma nova descarga.

A duração da descarga elétrica e o intervalo entre uma descarga e outra são medidos em microssegundos e controlados por comandos eletrônicos.

Descargas sucessivas, ao longo de toda a superfície do eletrodo, fazem a usinagem da peça. A freqüência das descargas pode alcançar até 200 mil ciclos por segundo. Na peça fica reproduzida uma matriz, que é uma cópia fiel do eletrodo, porém invertida.

Pare! Pesquise! Responda!

Por que, no processo de eletroerosão, a fonte de energia deve fornecer corrente contínua e não corrente alternada?

Se você analisar como flui a corrente elétrica por uma pilha, que é um gerador de corrente contínua, você encontrará a explicação para a pergunta anterior. A pilha tem dois pólos: o de carvão (+) e o de zinco (-). O elétrons se movem do pólo negativo para o positivo e a intensidade da corrente é constante. Na corrente alternada, a intensidade da corrente é variável, gerando inversões de polaridade (o mesmo pólo ora é positivo, ora é negativo). No processo de eletroerosão, isso poderia levar a um desgaste maior da ferramenta do que da peça.

Eletroerosão por penetração ou a fio?

O processo mais comum de eletroerosão baseia-se na **penetração** do eletrodo na peça, como foi descrito anteriormente.

AULA

68

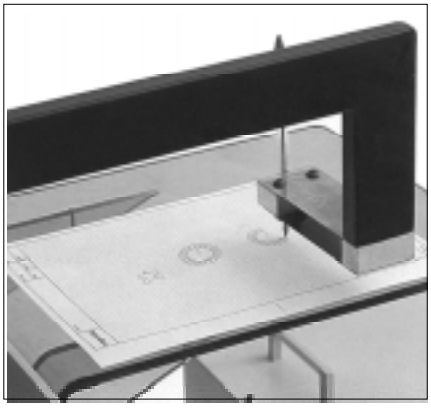
Para certas finalidades, como a usinagem de cavidades passantes e perfurações transversais, é preferível usar o processo de **eletroerosão a fio**.

Os princípios básicos da eletroerosão a fio são semelhantes aos da eletroerosão por penetração.

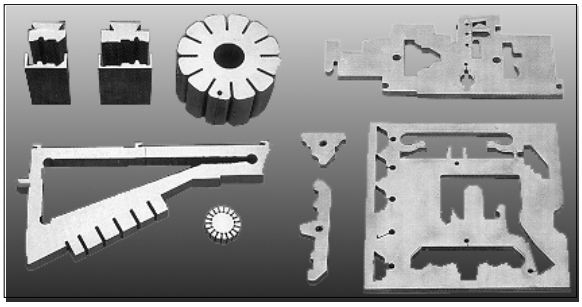
A diferença é que, neste processo, um fio de latão **ionizado**, isto é, eletricamente carregado, atravessa a peça submersa em água desionizada, em movimentos constantes, provocando descargas elétricas entre o fio e a peça, as quais cortam o material. Para permitir a passagem do fio, é feito previamente um pequeno orifício no material a ser usinado.

O corte a fio é programado por computador, que permite o corte de perfis complexos e com exatidão.

Em alguns equipamentos, um **ploter**, isto é, um traçador gráfico, possibilita a conferência da execução do programa pela máquina, como mostra a ilustração.



Atualmente, a eletroerosão a fio é bastante usada na indústria para a confecção de placas de guia, porta-punções e matrizes (ferramentas de corte, dobra e repuxo).



A figura mostra alguns exemplos de peças usinadas por eletroerosão a fio.

Eletrodo: a ferramenta da eletroerosão

Como você já sabe, na eletroerosão por penetração, a ferramenta usada é o **eletrodo**.

Em princípio, todos os materiais condutores de eletricidade podem ser usados como eletrodo. Mas tendo em vista que na fabricação de uma ferramenta por eletroerosão o preço de confecção do eletrodo representa uma parcela significativa dos custos do processo, é importante escolher com cuidado o material a ser utilizado e o método de usinagem.

Os melhores materiais para produção de eletrodos são aqueles que têm ponto de fusão elevado e são bons condutores de eletricidade. De um modo geral, os materiais para eletrodos podem ser agrupados em duas categorias: **metálicos** e **não-metálicos**.

Entre os materiais metálicos, os mais utilizados são: cobre eletrolítico, cobre tungstênio e cobre sinterizado. Eletrodos feitos desses materiais caracterizam-se por apresentarem ótimo acabamento e mínimo desgaste durante o processo de eletroerosão.

Entre os materiais não-metálicos, o grafite é o principal. Este é um material de fácil usinagem, porém é muito quebradiço. Os eletrodos de grafite são insensíveis aos choques térmicos, conservam suas qualidades mecânicas a altas temperaturas, praticamente não se deformam e são leves. Entretanto, são abrasivos, não podem ser moldados ou conformados e não aceitam redução por ácido.

Peças retangulares e cilíndricas, de dimensões padronizadas, são encontradas no comércio. Quando se trata de eletrodos de perfis irregulares e complexos, é recomendável analisar cuidadosamente a relação custo-benefício antes de partir para sua construção.

Os eletrodos podem ser produzidos pelos métodos convencionais de usinagem, como a fresagem, torneamento, aplainamento etc.

Muito bem! Agora que você já sabe que a eletroerosão seria uma solução viável para cunhar as medalhas do seu amigo, deve estar interessado em saber mais sobre este processo. Na próxima aula, você obterá mais detalhes sobre a produção de peças por eletroerosão. Antes, porém, resolva os exercícios a seguir.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta certa.

Exercício 1

Para que a eletroerosão ocorra, é necessário que os materiais da peça e da ferramenta sejam:

a) ( ) condutores de calor;
b) ( ) combustíveis;
c) ( ) isolantes;
d) ( ) condutores de corrente elétrica.

Exercício 2

O dielétrico deve ser um fluido:

a) ( ) isolante;
b) ( ) condutor de eletricidade;
c) ( ) combustível;
d) ( ) ionizado.

Exercício 3

A centelha é produzida quando o eletrodo:

a) ( ) encosta na peça;
b) ( ) afasta-se da peça;
c) ( ) fica a uma distância da peça chamada GAP;
d) ( ) mergulha no dielétrico.

Exercício 4

Entre os materiais mais usados para fabricação de eletrodos, destacam-se:

a) ( ) cobre eletrolítico, cobre tungstênio, grafite;
b) ( ) latão, ferro fundido, cobre;
c) ( ) aço, tungstênio, bronze;
d) ( ) grafite, latão, ferro fundido.

Exercício 5

A eletroerosão a fio é preferível quando for necessário usinar:

a) ( ) furos cilíndricos cegos;
b) ( ) cavidades passantes de perfis complexos;
c) ( ) rebaixos oblíquos não passantes;
d) ( ) furos helicoidais.

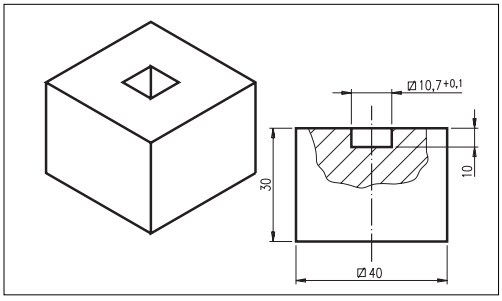
AULA

69

Um caso de eletroerosão

Na aula anterior, você ficou sabendo que a eletroerosão é um processo de usinagem que tem grande aplicação na confecção de matrizes de estampos de corte, matrizes para moldes de injeção e matrizes para forjaria, além de se prestar à usinagem de ferramentas de metal duro, com grande eficiência.

Para melhor compreender esse processo, nesta aula você vai acompanhar, passo a passo, a usinagem por eletroerosão de uma cavidade simples: um furo quadrado não passante, num bloco prismático de aço, como mostra a figura ao lado. Como se trata de uma cavidade não passante, usaremos a eletroerosão por penetração.



Para isso, é necessário que você conheça as partes principais da máquina de eletroerosão e identifique os procedimentos de preparação, os cuidados durante a operação e as medidas de conservação do equipamento, após o uso.

Pronto para começar? Então, vamos lá!

Conhecendo a máquina

Nossa aula

As máquinas modernas de eletroerosão por penetração apresentam a seguinte configuração básica:

O **painel de comando e gerador de potência** é o "cérebro" da máquina. Nele são determinados todos os parâmetros de usinagem.

O **cabeçote** é o local onde é fixado o eletrodo ou, eventualmente, a peça. Ele fica preso à **coluna** da máquina e tem movimentação vertical.

O **tanque de usinagem** é o recipiente onde a peça e o eletrodo permanecem submersos durante o processo de eletroerosão.

A **mesa de usinagem** é o local onde a peça é apoiada. Permite fazer dois tipos de avanço: longitudinal e transversal.

O **reservatório de dielétrico** e **sistema de filtragem** é o recipiente onde fica armazenado o fluido isolante e onde é feita a limpeza dos resíduos gerados no processo.

A **base** é o conjunto que abriga motores e todos os sistemas de transmissão.

Você ficará sabendo mais detalhes sobre o funcionamento desses conjuntos à medida que formos avançando na usinagem do nosso bloco prismático.

A escolha do eletrodo

Para a usinagem do furo quadrado no bloco prismático, o eletrodo pode ser de cobre eletrolítico, um material apropriado para a eletroerosão do aço.

As **medidas nominais** (**mn**) do eletrodo são as mesmas da cavidade a ser produzida. Mas um eletrodo com as mesmas dimensões da cavidade produziria um desbaste maior que o desejado. Por isso, é necessário calcular as **medidas finais** (**mf**) do eletrodo levando em consideração:

- o comprimento da centelha (**GAP**);
- a rugosidade (**r**) desejada na superfície da peça em mm;
- o coeficiente de segurança (**cs**).

O **coeficiente de segurança** gira em torno de 10% do valor da tolerância dimensional da peça.

Dependendo do trabalho a ser realizado, dois tipos de eletrodo podem ser necessários: o eletrodo de **desbaste** e o eletrodo de **acabamento**.

A fórmula para cálculo da medida final do eletrodo de desbaste é:

$$mf = mn - (2\,GAP + 2r + cs)$$

Verificando o entendimento

No caso do nosso bloco prismático, com furo quadrado de 10,7 mm, o GAP é 30 µm, a rugosidade desejada é 13 µm e a tolerância dimensional é 0,1 mm.

Calcule a medida final do eletrodo de desbaste.

Resposta: .....

Se você aplicou a fórmula anterior e fez os cálculos corretos, deve ter chegado à conclusão de que a medida final do nosso eletrodo de desbaste será **10,604 mm**. A medida da espessura do eletrodo não irá interferir na usinagem, uma vez que a profundidade do rebaixo será regulada pela descida do cabeçote.

A fórmula para cálculo da medida final do eletrodo de acabamento é:

$$mf = mn - (2\,GAP + 2r)$$

Antes de tudo, a limpeza

A **lavagem**, isto é, a **circulação do dielétrico** entre o eletrodo e a peça usinada, é muito importante porque, durante a usinagem, partículas erodidas tendem a acumular-se em pontos da superfície do eletrodo e da peça.

O acúmulo de grandes quantidades de partículas acarreta diminuição da resistência elétrica, facilitando a formação de descargas anormais, que danificam a peça e o eletrodo.

Para obter maior rendimento, melhor acabamento e menor desgaste do eletrodo, um sistema eficiente de limpeza deve remover essas partículas da zona de trabalho.

No início da usinagem, o dielétrico encontra-se limpo, isento de partículas e resíduos carbonados, pois foi filtrado no reservatório de dielétrico.

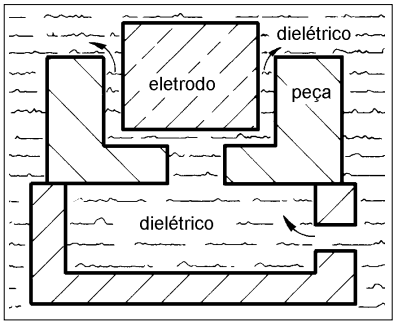
A resistência do dielétrico limpo é maior do que se ele estiver carregado de partículas. Portanto, para romper esta resistência, de modo a permitir que a primeira descarga ocorra, é necessário um tempo maior.

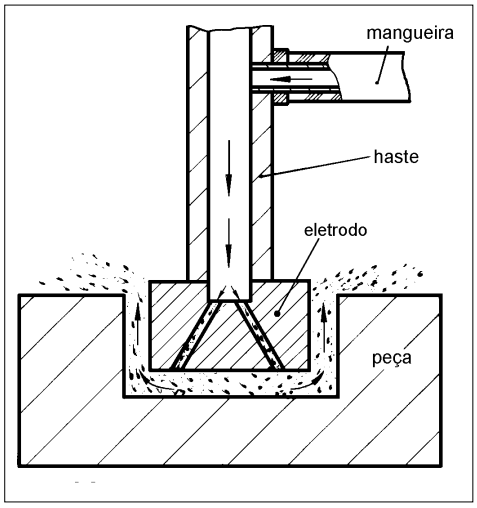
As partículas criadas pelas primeiras descargas reduzem as resistências do dielétrico, melhorando as condições de trabalho. Por isso, a pressão de limpeza não pode ser muito leve, nem muito potente, pois o melhor rendimento da máquina é obtido com uma certa porcentagem de contaminação do dielétrico.

Como você verá a seguir, há vários processos e dispositivos de limpeza. A escolha do processo apropriado depende das características da peça e do eletrodo.

Limpeza por injeção

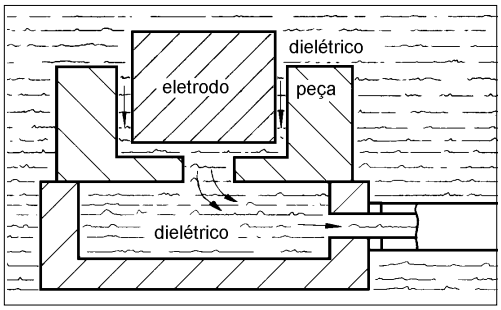
Nesse processo, a injeção do líquido dielétrico é feita com pressão localizada abaixo da peça, por intermédio de um depósito (caneca) ou por dentro do eletrodo. No primeiro caso, a peça tem de ser furada e, no segundo caso, o eletrodo tem de ser furado, para possibilitar a passagem do dielétrico.





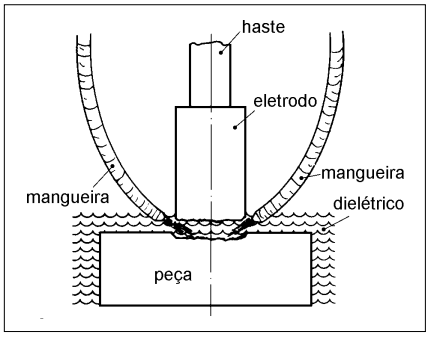
Limpeza por aspiração ou sucção

O dielétrico é aspirado por baixo da peça, através de um recipiente ou do eletrodo.



Limpeza por jato lateral

Este processo de limpeza deve ser utilizado se não for possível fazer pelo menos um orifício no eletrodo ou na peça. A injeção do líquido é feita por bicos posicionados de forma que garantam alcance de toda a superfície de trabalho.



Limpeza por agitação do dielétrico

É obtido por meio de pulsação do eletrodo. Quando o eletrodo é afastado, o volume de dielétrico na zona de trabalho aumenta rapidamente, provocando a entrada de líquido limpo que se mistura ao contaminado. Quando o eletrodo se movimenta, as partículas são eliminadas.

Limpeza por fluxo transversal

Usado quando o eletrodo for rígido e a situação permitir a realização de vários furos para limpeza.

Limpeza combinada

Combina o processo de aspiração e o de injeção. Permite o escoamento dos gases e das partículas gerados no processo e proporciona a circulação do dielétrico em toda a zona de usinagem.

Pare! Pesquise! Responda!

Analise os processos de limpeza apresentados anteriormente e indique o que você acha mais adequado para a usinagem do nosso bloco prismático.

O processo de limpeza por jatos laterais é adequado, uma vez que nosso objetivo é usinar uma cavidade não passante e não seria desejável fazer furo na peça. Além disso, nosso eletrodo não apresenta furos, pelos quais o dielétrico poderia ser aspirado ou injetado.

Ajuste de polaridade

Em geral, a polaridade do eletrodo é positiva e a da máquina, negativa. Mas, dependendo do material do eletrodo e das características da peça, pode ser necessário inverter a polaridade, como mostra a tabela a seguir

POLARIDADE DO ELETRODO				
eletrodo / peça	Cobre	Grafite	Cobre Tungstênio	Aço
aço	+	+	+	+
metal duro			–	
cobre	-	-	+	

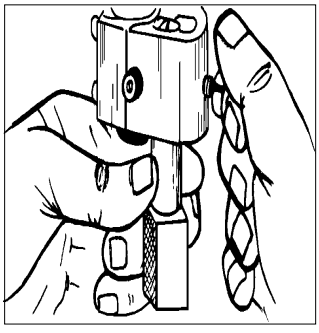
Outro caso de inversão de polaridade ocorre quando não é possível fixar a peça na mesa. Nesse caso, ela deve ser fixada no porta-eletrodo, que tem polaridade positiva.

No nosso exemplo, como se trata de um bloco de aço e o eletrodo será de cobre, vamos utilizar o esquema padrão: eletrodo positivo e peça negativa.

Preparação da máquina

Antes de ligar a máquina, é necessário fazer alguns ajustes nos parâmetros de usinagem, fixar corretamente o eletrodo no porta-eletrodo e a peça na mesa de coordenadas, e abastecer o tanque de usinagem de dielétrico.

Observe um detalhe **do gerador conjugado com painel de comando**, apresentado ao lado. Boa parte dos comandos para operação da máquina são transmitidos por meio dos botões deste painel.



A função do **seletor de amperagem** é regular a intensidade da corrente elétrica desejada, para cada tipo de trabalho, de acordo com: área de erosão, material do eletrodo e material da peça. Quanto maior a amperagem, maior o volume de material erodido.

A tabela a seguir traz os coeficientes para cálculo de amperagem, de acordo com o material do eletrodo e o material a ser usinado.

ELETRODO	MATERIAL A SER USINADO	COEFICIENTE PARA AMPERAGEM
Cobre eletrolítico	Aço	0,07 A/mm²
Grafite	Aço	0,01 A/mm²
Cobre e tungstênio	Aço	0,14 A/mm²
Cobre	Cobre	0,07 A/mm²
Cobre e tungstênio	Pastilha de metal duro	0,05 A/mm²

Para cálculo da amperagem (I), utiliza-se a fórmula:

I = área a ser erodida × coeficiente para amperagem

No nosso caso, aplicando a fórmula acima, teremos:

$I = 10{,}7\ mm \times 10{,}7\ mm \times 0{,}07\ A/mm^2 \cong 8\ A$

Os fabricantes de máquinas de eletroerosão fornecem tabelas práticas que permitem identificar os parâmetros de usinagem a partir da intensidade de corrente aplicada.

Vamos usar um extrato de uma dessas tabelas para determinar os parâmetros de usinagem do nosso bloco prismático.

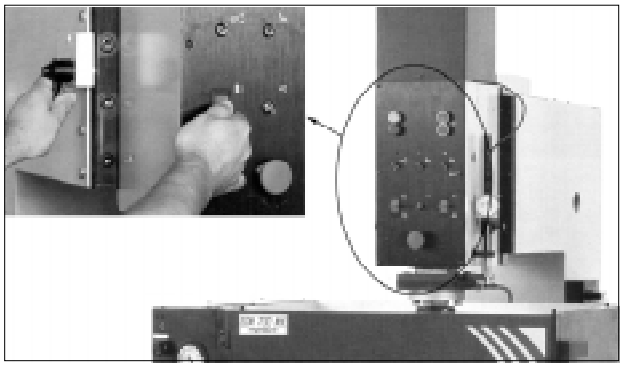
Considerando que a rugosidade desejada é 13 µm e que vamos trabalhar com uma intensidade de corrente equivalente a 8 ampères, basta localizar, na tabela, os parâmetros associados a estes valores.

Tabela prática usando eletrodo de cobre e peças de aço

Intensidade da corrente	Tempo de impulso	Tempo de pausa	GAP (µm)	Capacidade de erosão (mm^3 /min)	Desgaste do eletrodo (%)	Área mínima de erosão (mm^2)	Rugosidade (µm)	≠ entre medida final e medida do eletrodo (mm)
	1	1	17	1	40	5	7	0,048
	2	2	20	2	30	5	8	0,056
	3	2	25	2	20	5	10	0,070
8 A	4	2	30	3	15	5	13	0,086
	5	3	35	5	10	5	18	0,106
	6	3	40	6	7	5	20	0,120
	7	3	45	5	5	5	22	0,134
	8	3	50	5	4	5	28	0,156
	9	3	55	4	4	5	30	0,170

Na quarta linha da tabela, você encontra todos os parâmetros associados à rugosidade de 13 µm, que são:

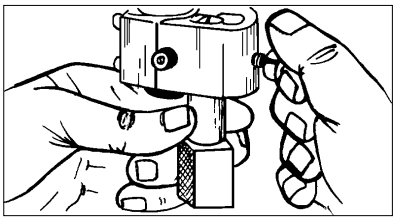
- Tempo de impulso: 4 microssegundos.
- Tempo de pausa: 2 microssegundos.
- GAP: 30 µm (Ajuste no seletor de amperagem).
- Capacidade de erosão: 3 mm^3/min .
- Desgaste do eletrodo: 15%.
- Área mínima de erosão: 5 mm^2 .
- Diferença entre a medida final e a medida do eletrodo de acabamento: 0,086 mm.



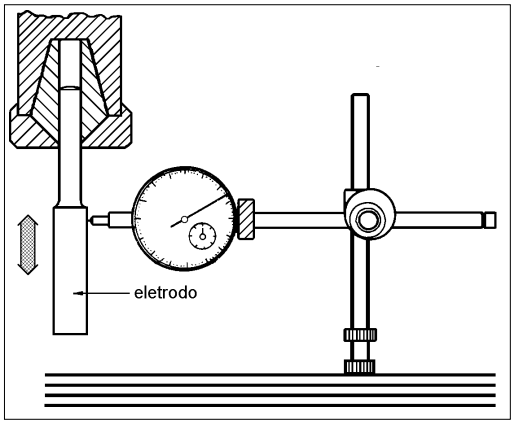
Outros comandos são transmitidos por um dispositivo acoplado na máquina, chamado **chaves de comando**.

Este dispositivo tem um potenciômetro com três estágios, que permite controlar a subida rápida do cabeçote, o ajuste do cabeçote durante a operação de centragem e o trabalho com limpeza automática. Um outro botão permite um comando fino de subida e descida do cabeçote por movimento hidráulico.

O próximo passo é a **fixação do eletrodo**, de modo a impedir que ele venha a se soltar durante a usinagem. A figura mostra um exemplo de sistema de fixação de eletrodo prismático, como o que vamos usar para usinar o furo quadrado.

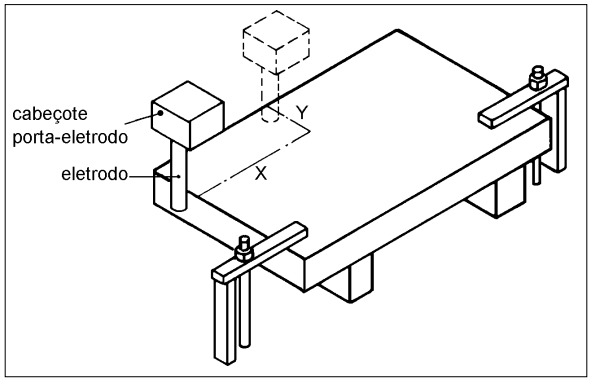


O eletrodo deve ser fixado de forma que facilite o posterior posicionamento. O alinhamento do eletrodo é feito por meio de um relógio comparador, fixado a uma haste articulada presa na mesa da máquina a uma base magnética.



A **fixação da peça** na mesa de coordenadas também é necessária, para que ela não se desloque durante a usinagem. O alinhamento da peça também deve ser verificado com a ajuda de um relógio comparador. Se for necessário, podem ser usados calços apropriados para elevar a peça até a altura desejada.

Uma vez que tanto o eletrodo como a peça estejam devidamente fixados, o próximo passo é posicionar o eletrodo no ponto onde ocorrerá a usinagem.



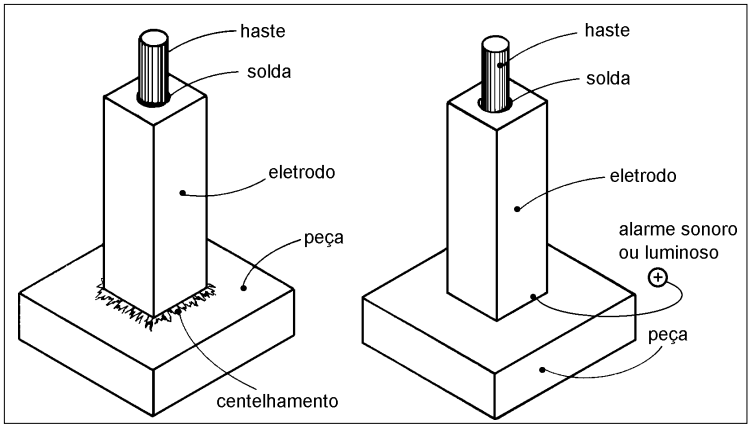
Esta operação é muito importante para garantir a exatidão da usinagem. Para localizar o eletrodo, devem ser tomados dois pontos de referência: **x** e **y**, o primeiro no sentido longitudinal, e o segundo no sentido transversal.

Ligando a máquina

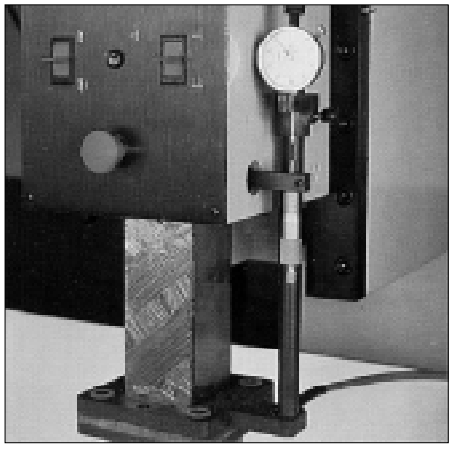
Antes de ligar a máquina, algumas precauções devem ser tomadas:

- O eletrodo deve ser afastado verticalmente.
- O tanque de usinagem deve ser fechado. Mas antes é necessário limpar a área de trabalho, removendo peças ou ferramentas desnecessárias, caso contrário elas poderão fechar o curto-circuito entre a mesa e o tanque de usinagem.
- O tanque de usinagem deve ser enchido com dielétrico. É importante manter o nível do dielétrico de 50 mm a 70 mm acima da superfície da peça, para evitar a combustão dos gases do dielétrico.

Com a máquina ligada e o botão de controle do painel de comando na posição de centragem, para evitar choque elétrico, o eletrodo deve ser aproximado da peça até que se observe um centelhamento ou, conforme a máquina, soe um alarme sonoro ou se acenda uma lâmpada.



A regulagem da profundidade desejada é feita no dispositivo limitador de profundidade.



Caso a máquina disponha de um sistema de leitura digital, esta medida vertical (**z**) bem como as medidas no sentido longitudinal (**x**) e no sentido transversal (**y**) são obtidas com extrema exatidão.

Esta operação serve para **regular a profundidade da erosão**, indispensável para que se obtenha a profundidade desejada, tanto na operação de desbaste como na operação de acabamento. Quando o eletrodo atinge a profundidade estabelecida, a máquina desliga-se automaticamente e o eletrodo volta ao ponto inicial.

É necessário regular a profundidade, mesmo que se trate de usinagem de cavidade passante, para evitar danos na mesa ou nos dispositivos utilizados.

Enfim, a usinagem da cavidade...

Com amperagem regulada, o sistema de limpeza ligado, o tanque de usinagem cheio de dielétrico, o resto é com a máquina.

Seu trabalho será ligar a alavanca de acionamento na posição de **corrente** e ficar observando a máquina trabalhar. Quando for atingida a profundidade desejada, a máquina se desligará automaticamente.

Terminado o trabalho, o dielétrico do tanque de usinagem deve ser drenado e a peça e o eletrodo devem ser retirados.

Peça usinada. Resultado satisfatório. Uma boa hora para resolver alguns exercícios sobre os assuntos estudados.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Sabendo que, num processo de usinagem por eletroerosão:
- o comprimento da centelha é 45 µm;
- a rugosidade pretendida é 22 µm;

calcule a medida final que deve ter um eletrodo de acabamento cilíndrico, com 10 mm de diâmetro, aplicando a fórmula: **mf = mn - (2 GAP + 2r)**

Exercício 2

Marque **V** para a afirmação verdadeira e **F** para a falsa.

a) ( ) Uma certa porcentagem de contaminação do dielétrico contribui para o bom rendimento da máquina, no processo de eletroerosão.

b) ( ) Na limpeza por injeção, o furo para circulação do dielétrico tanto pode ser feito na peça como no eletrodo.

c) ( ) A limpeza combinada conjuga os processos de aspiração e agitação do dielétrico.

d) ( ) A limpeza por jato lateral pode ser escolhida quando não for possível fazer furos na peça ou no eletrodo.

Exercício 3

Marque com X a resposta certa. No processo de eletroerosão, a polaridade da peça:

a) ( ) é sempre positiva;

b) ( ) é sempre negativa;

c) ( ) pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do eletrodo;

d) ( ) pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do dielétrico.

Exercício 4

Calcule a amperagem adequada para usinar, por eletroerosão, um furo cilíndrico não passante, de 15 mm de diâmetro, num bloco de aço, usando um eletrodo de grafite.

Exercício 5

Qual o GAP que deve ser ajustado no seletor de amperagem, num processo de eletroerosão que usará uma corrente de 8 ampères e que requer uma rugosidade de 20 µm?

AULA

70

Pantógrafo

Nesta aula você vai conhecer, de maneira geral, uma máquina usada para fazer gravações em metais, plásticos e acrílicos. Vai saber como esta máquina é montada e quais são os principais dispositivos que a compõem. Vamos lá?

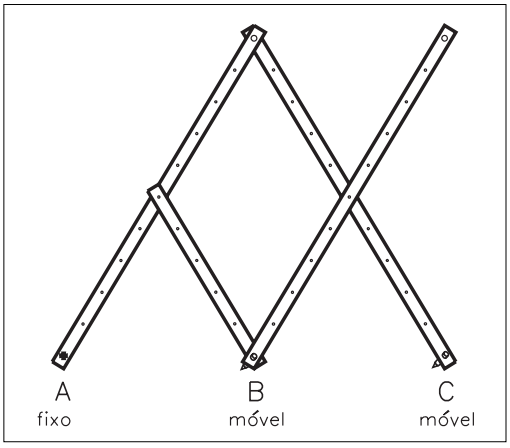
Nossa aula

Cópias perfeitas

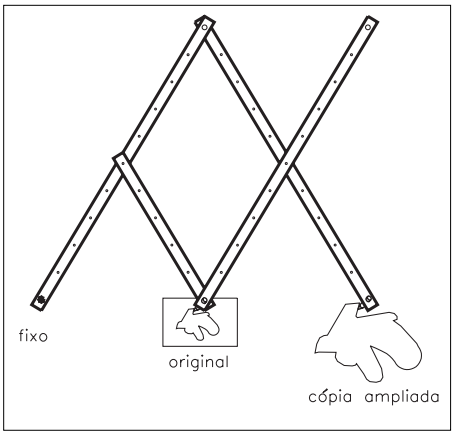
Pantógrafo é um equipamento usado para reproduzir uma figura em seu tamanho natural ou em escala diferente do original. O significado da palavra é vinculado a essa propriedade de reprodução da mesma figura em tamanhos diferentes.

O pantógrafo mais simples é usado em desenho quando se quer copiar uma ilustração. Vamos ver como ele funciona, pois assim entenderemos como funciona um pantógrafo mecânico.

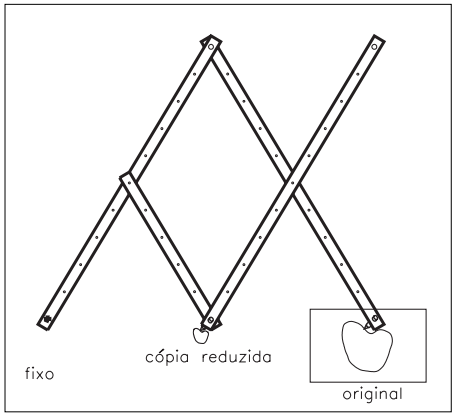
O pantógrafo para copiar desenhos é composto de quatro hastes de madeira ou metal, unidas entre si de modo que formem um paralelogramo ajustável, como mostra a figura a seguir. Os pontos A, B e C são sempre alinhados. O ponto A é preso à mesa de trabalho e os pontos B e C possuem uma ponta de lápis em cada um.



Se usarmos o ponto B como ponto de contorno do original que quisermos reproduzir, o lápis do ponto C desenhará a mesma figura, ampliada.



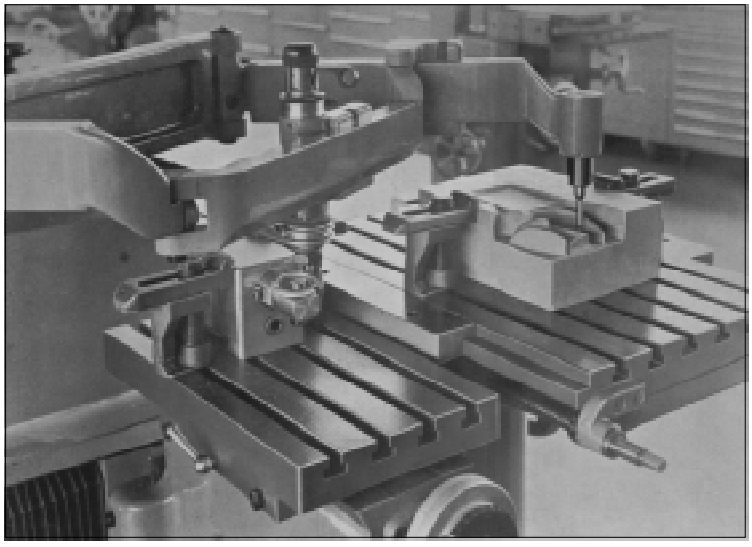
Se usarmos o ponto C como ponto de contorno do original que quisermos reproduzir, o lápis do ponto B desenhará a mesma figura, reduzida.



Pantógrafo mecânico

O mesmo princípio de funcionamento do pantógrafo utilizado em desenho é usado na máquina chamada **pantógrafo mecânico**. É uma máquina da família das fresadoras, utilizada para reproduzir gravações para estampos de moedas, medalhas, placas com textos etc. É também chamada de **fresadora pantográfica, fresadora pantógrafo** ou **fresa gravadora**.

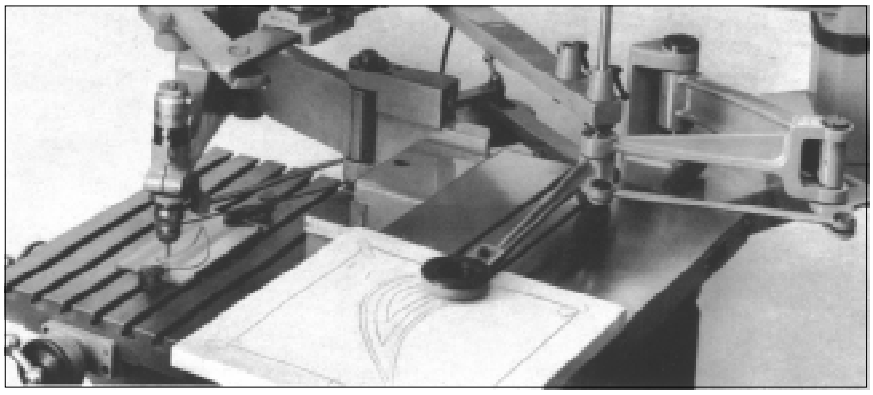
O pantógrafo funciona baseado em dois conjuntos. Um contém o modelo a ser copiado e se localiza sobre a **mesa porta-matriz**. Na operação de cópia, o modelo é tocado por um dispositivo que identifica as medidas de profundidade da gravação chamado **apalpador**.

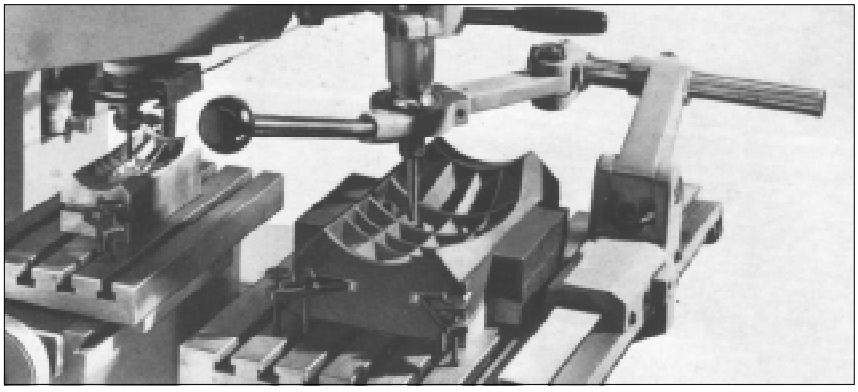


O outro conjunto contém o material que vai ser gravado por meio de **bastão abrasivo** ou por meio de **fresa gravadora**. Esses dois dispositivos de gravação situam-se acima da **mesa de trabalho**.

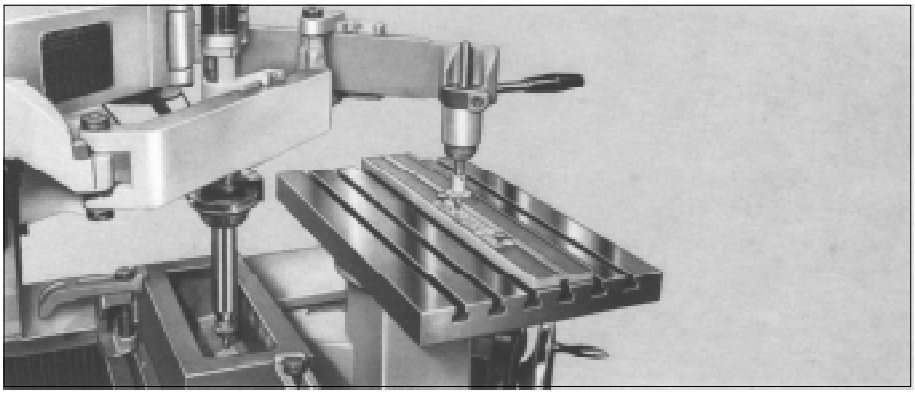
AULA
70

O pantógrafo tanto pode copiar modelos em escala natural como em escala reduzida ou ampliada. Os modelos podem ser desenhos em papel, formas em metal ou plástico, planas ou volumétricas.





O modelo a ser copiado, ou **gabarito**, é preso à **mesa porta-matriz**. A peça a ser trabalhada é presa à **mesa de trabalho**. O **apalpador** é conduzido manualmente sobre o modelo. O movimento do traçado é transferido à **fresa gravadora** por meio de **cordões de transmissão**. A velocidade de deslocamento do apalpador, leva em conta o material com que se trabalha, o raio da ponta do apalpador etc. Como no pantógrafo de desenho, à medida que o apalpador se desloca sobre o modelo, a ferramenta esculpe o material .

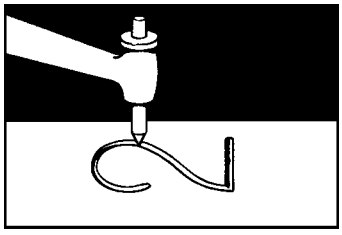


De modo geral, o trabalho não é executado de uma só vez. A gravação no material é feita progressivamente até se conseguir a cópia planejada.

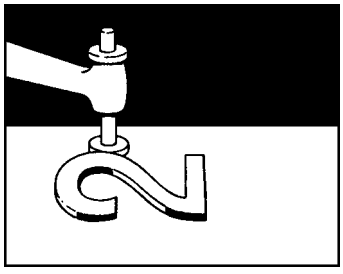
Tipos de gravação

Normalmente, a gravação é feita sobre uma chapa plana, mas existem alguns tipos de figura em relevo que também são feitas em pantógrafos. Desse modo, há dois tipos gravação:

- as **bidimensionais**, como a gravação de um nome em uma placa num plano de duas dimensões: comprimento e largura;

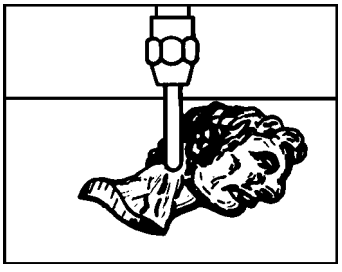


baixo-relevo



alto-relevo

- as **tridimensionais**, como a reprodução de uma medalha em três dimensões: comprimento, largura e altura.

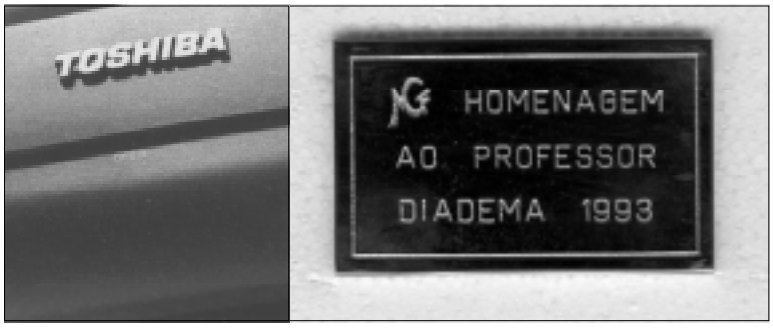


Tipos de pantógrafo

Costuma-se chamar a máquina preparada para gravação em placas de **pantógrafo bidimensional**, e a máquina preparada para reproduzir um trabalho com muitos rebaixos e elevações de **pantógrafo tridimensional**.

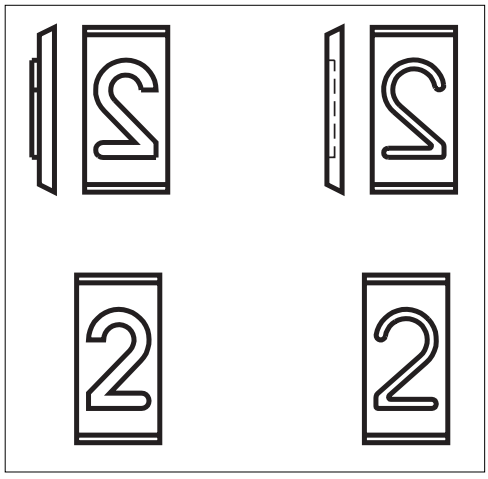
Um trabalho muito executado em pantógrafos bidimensionais com que temos contato em nosso dia-a-dia é a impressão de marcas em objetos de metal ou plástico e placas de aviso colocadas por toda parte.

No caso de gravação de letras, são feitos cálculos exatos para o processo ser realizado com êxito. Levam-se em conta o tamanho da letra a ser gravada, a espessura do traço, a característica da letra (se será escavada ou em relevo), o material em que vai ser gravada, o deslocamento do apalpador, a inclinação da fresa, a mesa a ser usada para prender o material, a relação entre a mesa de trabalho com a mesa do modelo.



AULA
70

No caso de gravação de palavras, as letras são copiadas uma a uma. Quando lemos na embalagem de plástico de um produto um texto qualquer, o processo adotado para gravar as letras é o seguinte. Primeiramente, é feita uma matriz de metal no pantógrafo, com as letras invertidas, como num carimbo. Essas letras, ao serem estampadas na superfície do plástico, passam então a ser lidas corretamente.



Outras vezes, levando-se em conta os custos e os materiais utilizados, a gravação do pantógrafo é feita diretamente sobre a superfície do produto. Como exemplo disso, temos as placas de identificação em máquinas operatrizes ou máquinas-ferramenta. As placas de identificação são de acrílico e a inscrição das letras é feita diretamente pelo pantógrafo.

Agora, vamos ver se você aprendeu. Faça os exercícios e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta certa.

Exercício 1

O movimento do traçado da peça é transferido da matriz ao material por meio de:

a) ( ) força pantográfica;
b) ( ) cordões de transmissão;
c) ( ) elos de ligação;
d) ( ) cópia pantográfica.

Exercício 2

Em geral, o trabalho de cópia no pantógrafo é:

a) ( ) feito imediatamente, de acordo com a velocidade;
b) ( ) feito manualmente e com ajuda de pedais;
c) ( ) feito progressivamente, até se conseguir o produto planejado;
d) ( ) feito repentinamente, sem progressão na operação.

Exercício 3

As gravações que um pantógrafo faz podem ser:

a) ( ) únicas ou múltiplas;
b) ( ) em série ou sem série;
c) ( ) bi ou tridimensionais;
d) ( ) manuais ou automáticas.

Exercício 4

Quando as letras copiadas num pantógrafo forem usadas para gravação em plástico, elas devem ser:

a) ( ) plastificadas;
b) ( ) copiadas;
c) ( ) decalcadas;
d) ( ) espelhadas.

Exercício 5

Quando se gravam palavras por meio do pantógrafo:

a) ( ) as letras são copiadas, uma a uma;
b) ( ) as palavras são copiadas de uma só vez;
c) ( ) as palavras são separadas em sílabas;
d) ( ) as sílabas são separadas para cópia.

AULA

71

Corte e dobra

Introdução

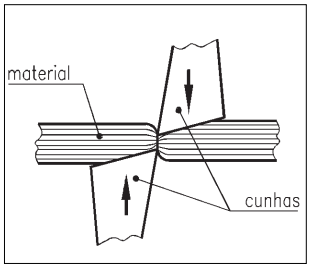
Nesta aula, você vai ter uma visão geral de como são os processos de fabricação por conformação, por meio de estampos de **corte e dobra**. Inicialmente, veremos os princípios do corte e da dobra. Depois, os processos de fabricação com utilização destes estampos. Será apresentada a relação entre a resistência do material a ser cortado e a montagem da ferramenta de corte. Veremos ainda aspectos gerais que determinam a qualidade de um produto que incorpora os processos de corte e dobra. Vamos lá?

Nossa aula

Princípios do corte e da dobra

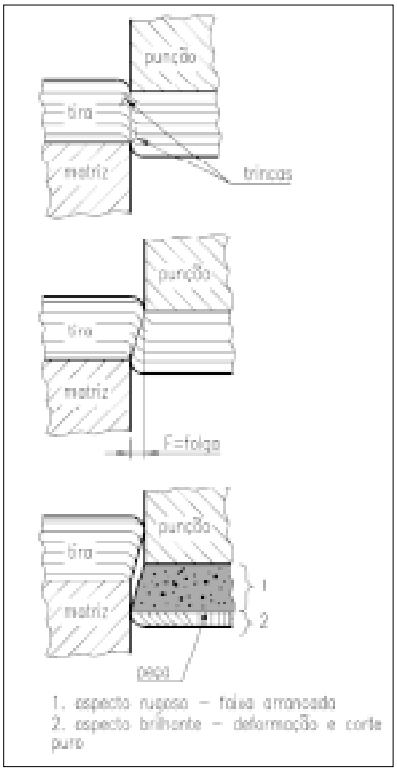
O **corte** é um processo de fabricação em que uma ferramenta, com duas cunhas de corte, que se movem uma contra a outra, provoca a separação de um material por cisalhamento. Cisalhamento é a deformação que um corpo sofre devido à ação de forças cortantes opostas.

As cunhas de corte são também chamadas de **faca** ou **punção** e **matriz**. O **punção** é pressionado contra o material e a **matriz**, de tal modo que para efetuar o corte é preciso aplicar uma certa força. A essa força se dá o nome de **esforço de corte**.

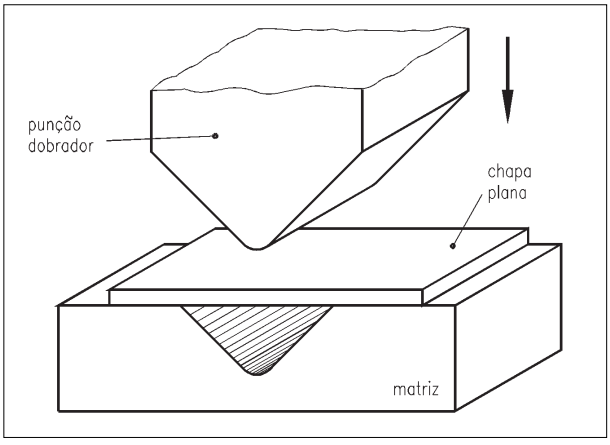


Durante o corte, quando o **punção** pressiona o material contra a **matriz**, aparecem, inicialmente, no material deformações elásticas. Logo a seguir, surgem deformações plásticas em ambos os lados da chapa a ser cortada. Em seguida, com a pressão contínua do punção contra a matriz, o material começa a trincar. Essas trincas de ruptura, ao se unirem, separam a peça da chapa. Uma característica do corte é que a separação de materiais acontece sem a formação de cavacos.

Um corte perfeito, sem rebarbas, é obtido quando as trincas, que se iniciam nos fios de corte, se encontram. Para que isso ocorra, é preciso haver uma folga adequada entre o punção e a matriz, conhecida como **folga de corte**. Ela é calculada conforme o material a ser trabalhado, sua espessura e sua resistência à tração. Observe uma representação do corte de uma chapa.



A **dobra** é um processo de fabricação em que uma ferramenta composta por um conjunto de duas ou mais peças exerce uma força sobre uma superfície, alterando-a. A figura ao lado apresenta um conjunto de dobra. A chapa, plana, é alterada, obtendo-se a mesma forma encontrada tanto no punção quanto na matriz. As operações de dobra são utilizadas para dar forma a peças e a perfis.

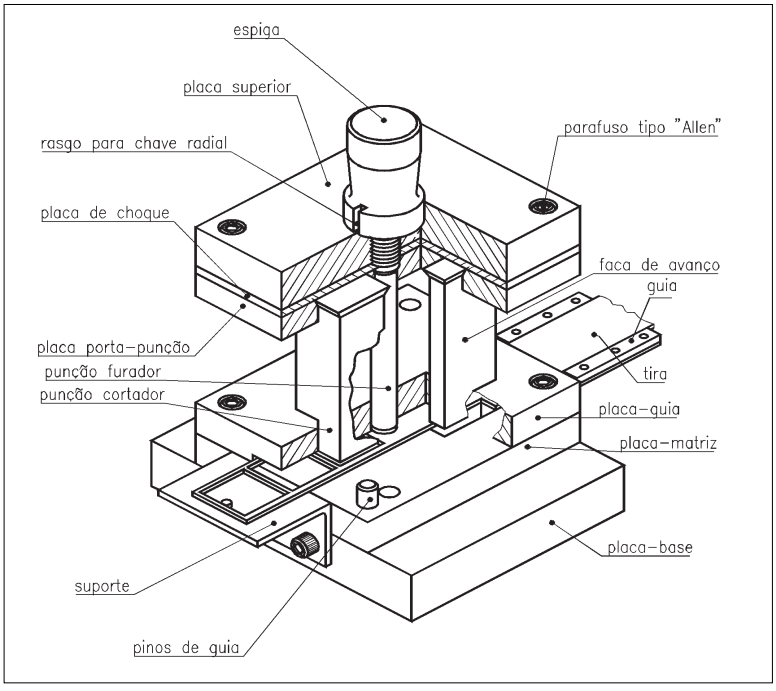


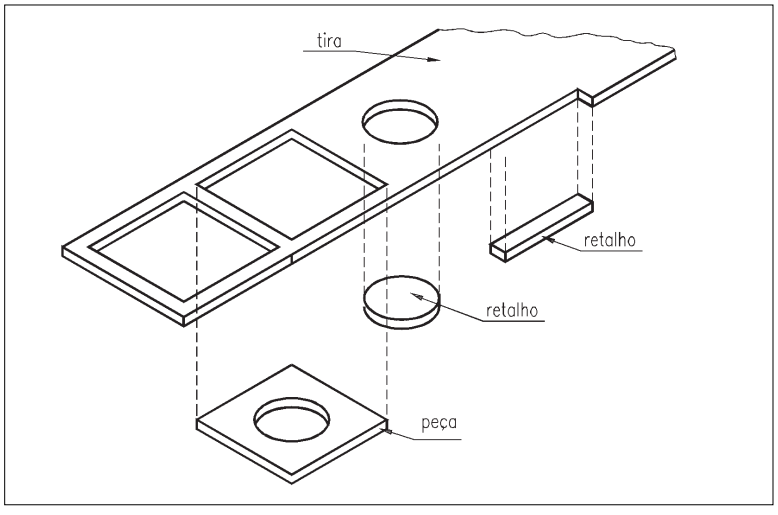
Ferramenta de corte e de dobra

O estampo é a ferramenta usada nos processos de corte e de dobra. Compõe-se de um conjunto de peças ou placas que, associado a prensas ou balancins, executa operações de corte e de dobra para produção de peças em série. A figura a seguir apresenta um estampo de corte.

AULA

71



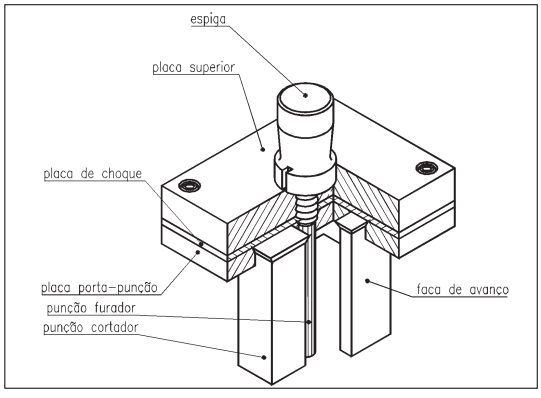


Durante o processo, o material é cortado de acordo com as medidas das peças a serem estampadas, a que se dá o nome de **tira**. Quando cortamos numa tira de material as formas de que necessitamos, a parte útil obtida recebe o nome de **peça**. O restante de material que sobra chama-se **retalho**, como na figura ao lado.

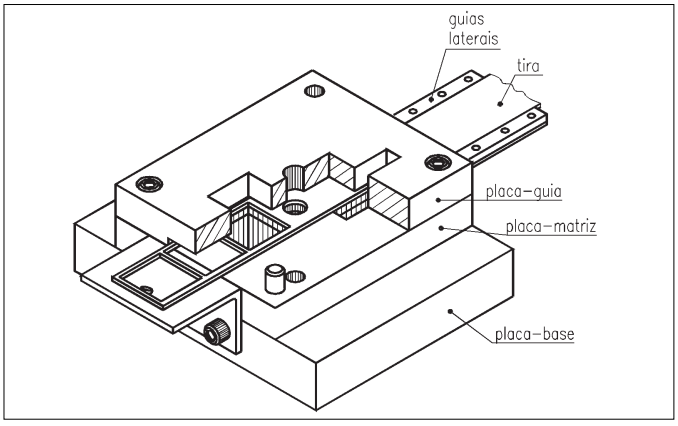
Partes do estampo de corte

De modo geral, os estampos de corte são formados por dois conjuntos de peças: o superior e o inferior.

O conjunto superior é a parte móvel do estampo. É fixada à máquina, realiza movimentos de "sobe-desce" e apresenta os seguintes componentes: espiga, placa superior, placa de choque, placa porta-punções, punções e faca de avanço.

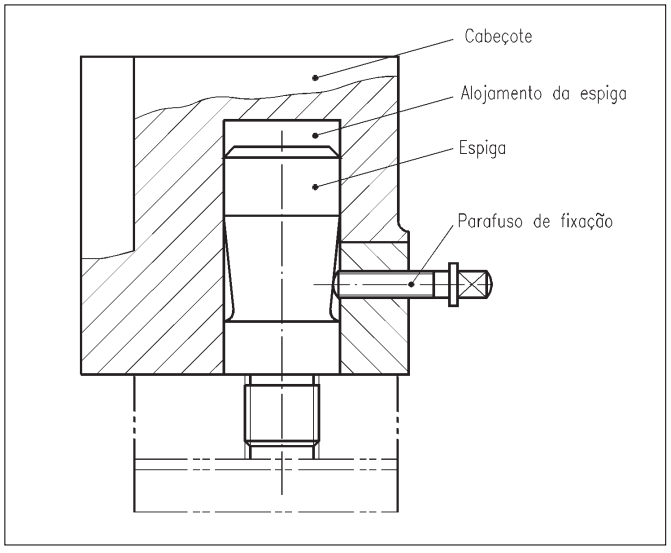


O conjunto inferior é a parte imóvel do estampo. É fixada à máquina e apresenta os seguintes componentes: placa-guia, guias laterais, placa-matriz e placa-base.

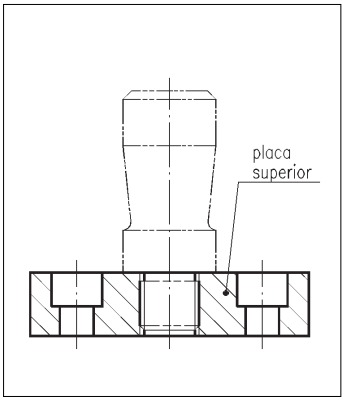


Conjunto superior

Espiga é uma peça geralmente cilíndrica de aço 1020 a 1030 que, introduzida e presa no alojamento do cabeçote da prensa, sustenta o conjunto superior.

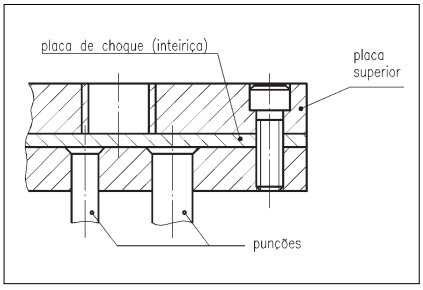


Placa superior é uma placa de aço 1020 a 1030 que tem por finalidade fixar a espiga e unir, por meio de parafusos, a placa de choque e a placa porta-punção.

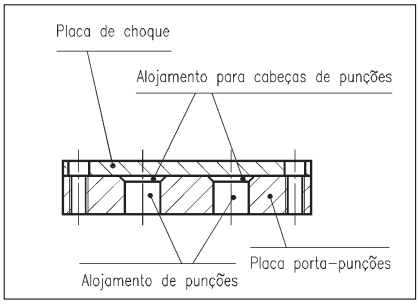


AULA
71

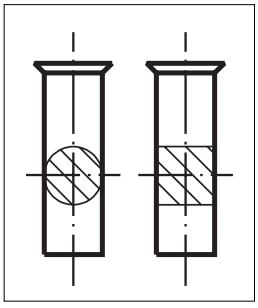
Placa de choque é uma placa de aço 1060 a 1070, temperada e retificada, que tem a função de receber choques produzidos pelas cabeças dos punções no momento em que eles furam ou cortam a chapa, evitando sua penetração na placa superior. A espessura da placa de choque varia conforme o material a ser cortado.



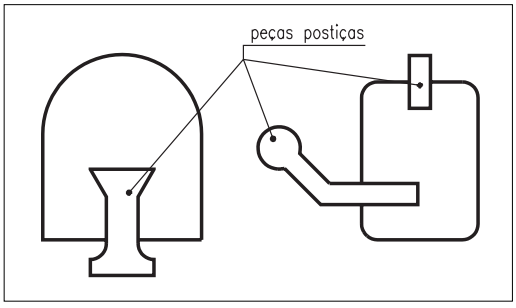
Placa porta-punções é uma placa de aço 1020 a 1030 situada logo abaixo da placa de choque ou da placa superior. É fixada por parafusos e tem como função sustentar punções, cortadores e cunhas.



Punção é uma peça de aço com elevado teor de carbono, temperada e revenida, que faz o corte quando é introduzido nas cavidades da placa-matriz, dando forma ao produto. O punção pode ser classificado em **simples**, quando sua forma não apresenta dificuldade de construção. É classificado como punção **com peças postiças** quando apresenta partes frágeis que serão submetidas a grandes esforços.

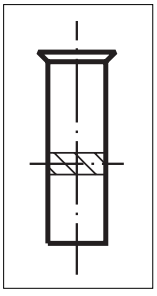


punção simples



punção com peças postiças

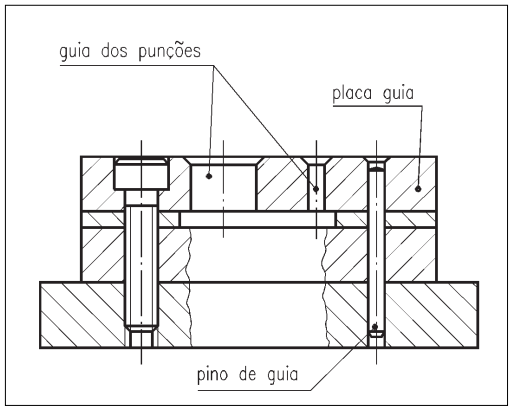
Faca de avanço é um punção cuja largura equivale ao passo da matriz. Deve ser usada em estampos progressivos para obter maior rapidez no trabalho. As facas podem ser simples ou duplas.



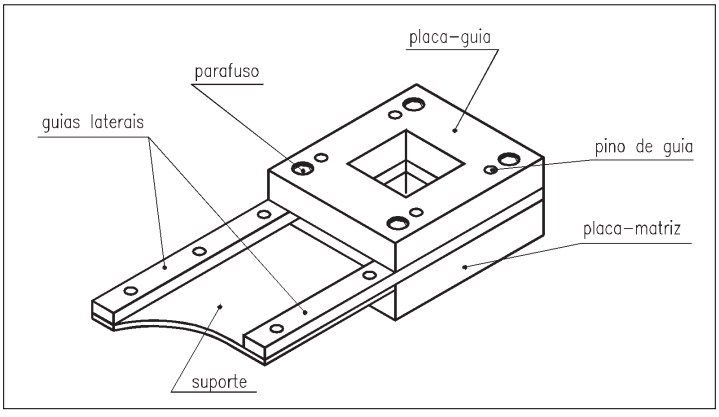
A faca de avanço faz um corte lateral na tira com a mesma medida do passo. Isso possibilita o deslocamento da tira em passos constantes para obtenção de peças padronizadas.

Conjunto inferior

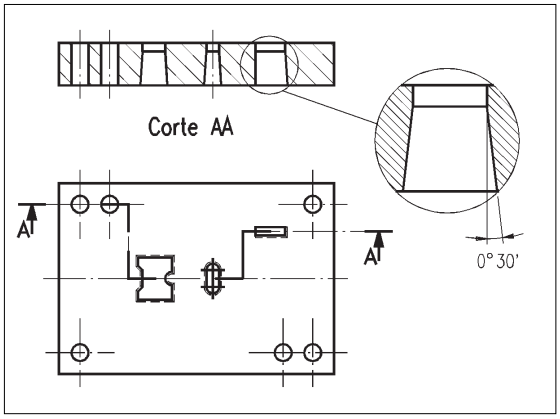
Placa-guia é uma placa de aço 1020 a 1030 que tem a função de guiar os punções e pilotos centradores nas cavidades cortantes da matriz. A espessura da guia varia conforme o tamanho do estampo, o curso e a função dos punções.



Guias laterais são duas peças de aço 1040 a 1060 colocadas na lateral da placa-matriz. Podem ser temperadas e revenidas. Sua função é guiar a tira de material a ser cortado.

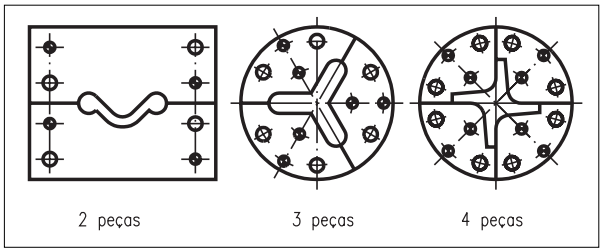


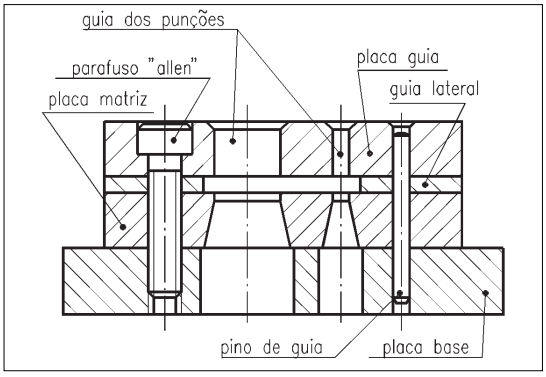
Placa-matriz é uma placa de aço com elevado teor de carbono, temperada, revenida e retificada, com cavidades que têm a mesma secção dos punções. Tem a função de reproduzir peças pela ação dos punções. Observe que a matriz apresenta, nas arestas internas de corte, uma parte cônica para facilitar a passagem da peça ou do retalho.



AULA
71

As placas-matrizes podem ser **inteiriças**, quando constituídas de uma única peça, ou **seccionadas**, quando constituídas de várias peças utilizadas nos estampos de grandes dimensões.



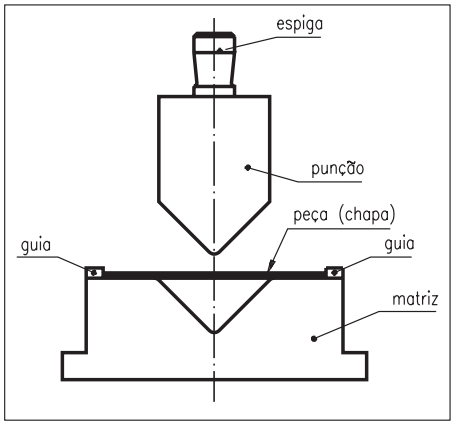


Placa-base é uma placa que serve de apoio à placa-matriz e fixada a ela por meio de parafusos e pinos de guia. É construída em aço 1020 a 1030. Quando a peça já cortada sai pela parte inferior da matriz, a placa-base tem sempre uma cavidade com dimensão maior para facilitar a saída.

Partes do estampo de dobra

O estampo de dobra é também conhecido como **dobrador**. É formado de **punção** e **matriz** e, geralmente, guiado pelo cabeçote da prensa ou placa-guia.

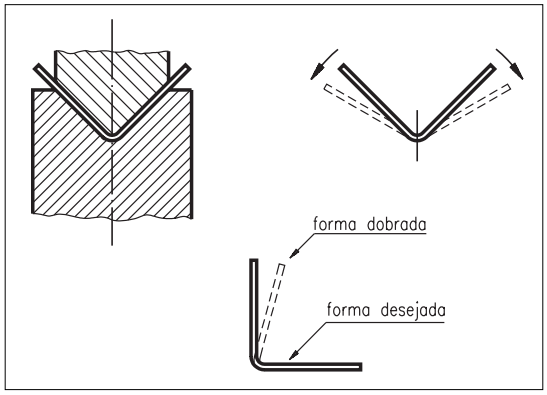
O **punção** é uma peça de aço, temperada e revenida, cuja parte inferior tem um perfil que corresponde à superfície interna da peça. Pode ser fixado diretamente no cabeçote da prensa ou por meio da espiga. A **matriz** é de aço e sua parte superior tem a forma da parte exterior da peça. Pode ser fixada diretamente sobre a mesa da prensa. Geralmente, é sobre a matriz que se fixam as **guias do material** da peça, que são elementos adaptados ao estampo para dar uma posição adequada de trabalho.



Procedimento de dobrar

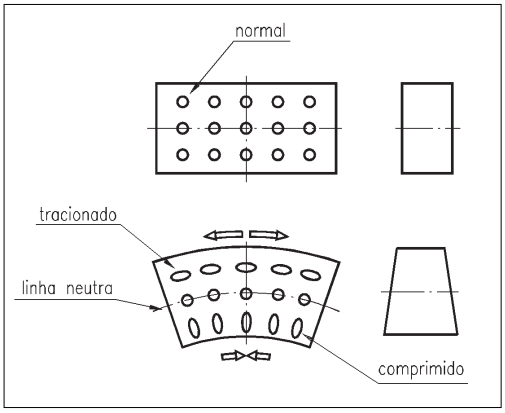
Com um estampo simples de dobrar podemos conseguir vários perfis, mudando somente a posição da peça para obter a forma desejada.

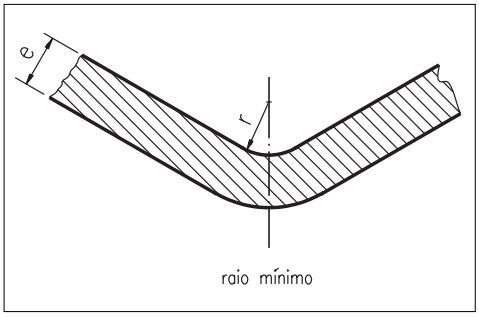
Devido à recuperação elástica, uma peça que foi dobrada tende a voltar à sua forma inicial. Por isso, é preciso, ao dobrar, calcular um ângulo menor do que o desejado para que depois da recuperação elástica a forma fique com as dimensões previstas.



Outros fatos a considerar no processo são:

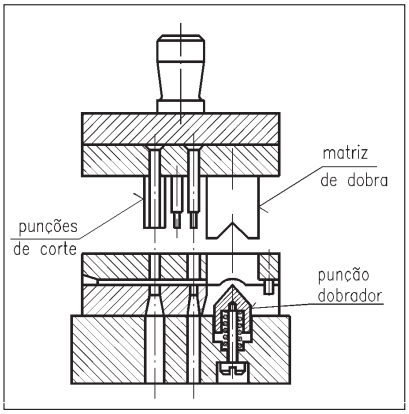
- a peça comprime-se na parte interna da dobra e estende-se na parte externa;
- existe uma região na peça dobrada onde não ocorre deformação por tração nem por compressão. É onde se localiza a chamada **linha neutra**, que é utilizada para os cálculos do estampo de dobra. Observando a figura ao lado, nota-se que na região tracionada houve diminuição da secção, e na região comprimida houve aumento da seção;
- quando se dobra uma chapa com um raio interno muito pequeno, ela pode trincar, romper, ter uma redução de espessura, e, conseqüentemente, perder a resistência desejada. Por isso, existem cálculos para o raio mínimo a ser observado, dependendo do material com que se trabalha.
- na ação de dobrar, a força a ser aplicada também é calculada, de modo que se defina a prensa adequada para realização do trabalho.

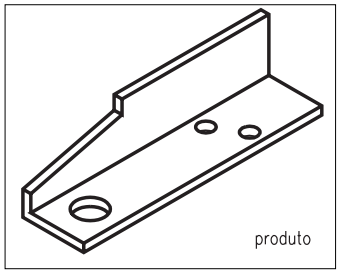




Estampo misto: corte e dobra

Existem estampos mistos cujas estruturas são o resultado da união dos estampos de corte e de dobra. Os estampos mistos realizam as duas operações, tanto de corte como de dobra. Na figura ao lado, vemos um estampo em corte e seu produto correspondente.





Vamos ver agora o que você aprendeu. Resolva as questões e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

As cunhas de corte nos estampos são conhecidas como:

a) ( ) placa-guia e faca de avanço;
b) ( ) faca e ferramenta de corte;
c) ( ) punção e matriz;
d) ( ) placa de choque e punção.

Exercício 2

Durante o processo de corte,

a) ( ) a matriz sustenta o material junto com as ferramentas de corte;
b) ( ) a matriz produz cavacos em contato com o punção;
c) ( ) a chapa pressiona as ferramentas no mesmo sentido das ferramentas;
d) ( ) o punção pressiona o material contra a matriz.

Exercício 3

Folga de corte é:

a) ( ) espaço adequado entre punção e matriz;
b) ( ) espaço entre a placa-guia e os punções;
c) ( ) tempo entre um corte e outro;
d) ( ) espaço deixado na tira entre uma peça e outra.

Exercício 4

Uma peça a ser dobrada tende a voltar à sua forma anterior por causa da:

a) ( ) elasticidade permanente;
b) ( ) compressão na estampagem;
c) ( ) recuperação elástica;
d) ( ) tensão superficial.

Exercício 5

Linha neutra é a região

a) ( ) da prensa que exerce menos força sobre o material;
b) ( ) do material onde há maior esforço e concentração de material;
c) ( ) do punção localizada nos lados direito e esquerdo;
d) ( ) da peça dobrada onde não ocorre deformação do material.

AULA

72

Repuxo

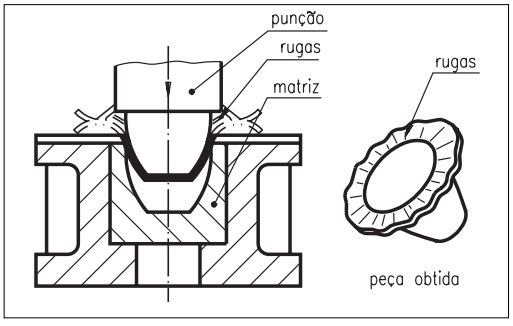
Nesta aula você vai saber o que é o processo de fabricação conhecido pelo nome de **repuxo** ou **embutimento**. Por meio dele é que são feitos utensílios domésticos de uso diário como bacias, canecas e panelas de alumínio. Você vai saber como funciona um estampo de repuxo e ter uma idéia geral do processo.

Vamos lá ?

Estampos de repuxo

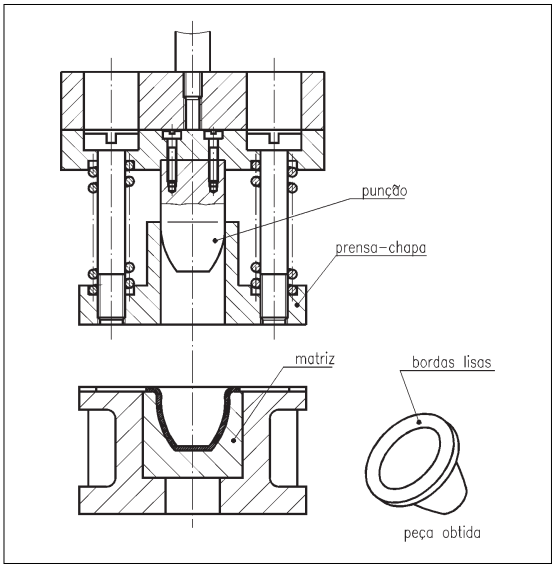
Nossa aula

Repuxo é um processo de fabricação, pelo qual uma chapa metálica adquire forma volumétrica, oca, previamente definida. As ferramentas que executam esse trabalho têm as mesmas características dos estampos de corte e dobra. São formadas basicamente por um punção e uma matriz. Na figura a seguir, vemos uma ferramenta de repuxo simples, utilizada para a fabricação de um recipiente.



Observe que o embutimento com esta ferramenta simples produz rugas na peça.

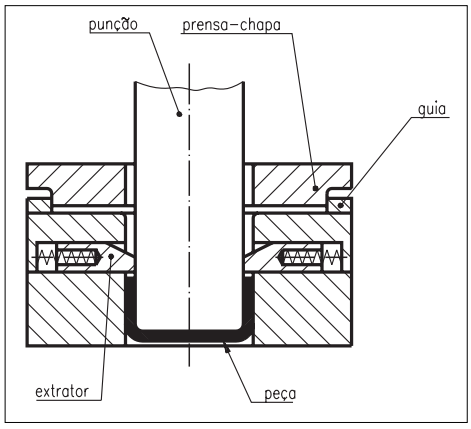
Os estampos de **repuxo simples** têm custo mais baixo que outros estampos de repuxo. Eles são pouco usados devido à formação de rugas nas bordas durante a operação. Os estampos de repuxo mais elaborados possuem um **sujeitador**, também conhecido como **prensa-chapas**. Este dispositivo evita que as bordas, após repuxadas, apresentem rugas. Embora o custo seja mais elevado, são os tipos mais usados na operação de repuxar. Veja, a seguir, um exemplo de estampo com prensa-chapas.



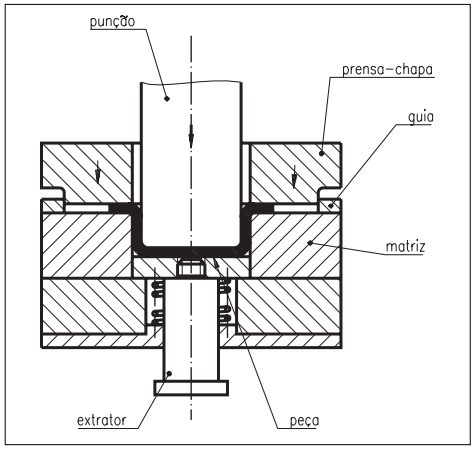
O prensa-chapas tem a função de manter a chapa sob pressão para fazer com que ela deslize apenas para o interior da cavidade da matriz, sem formar rugas. Para evitar a formação de trincas ou fissuras, vários fatores devem ser observados: o cálculo do raio da matriz, a lubrificação do material da peça, a folga entre o punção e a matriz, a regulagem da pressão exercida pelo prensa-chapas etc.

Ao terminar a operação de repuxo, a peça já moldada fica presa à matriz do estampo de repuxar devido à propriedade de recuperação elástica do material. Para que a peça se desloque da cavidade da matriz, existe um dispositivo chamado **extrator**, que tem a função de liberar a peça.

Na figura ao lado vemos um estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte inferior do estampo.



Vemos, na figura ao lado, um estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte superior do estampo.



Folga

Quando se planeja fabricar uma peça pelo processo de repuxo, tem-se que levar em conta a **folga** que deve ser deixada entre o punção e a matriz de repuxo. Calcula-se a folga, representada pela letra grega minúscula delta (δ) em função do tipo e da espessura do material a ser repuxado.

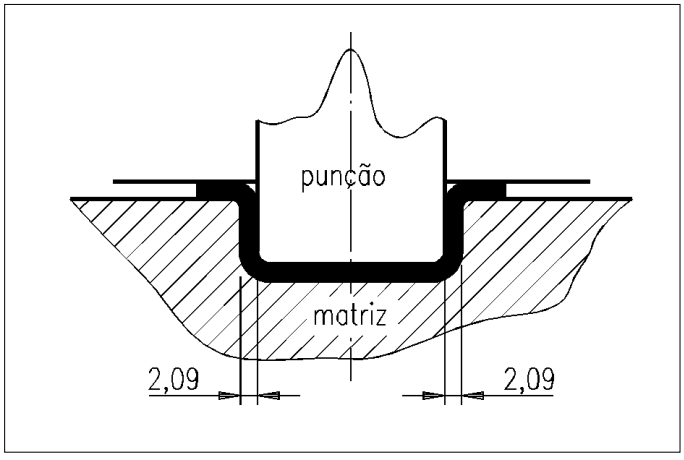
A folga corresponde ao valor da espessura do material mais um coeficiente determinado empiricamente para grupos de materiais, como mostram as fórmulas a seguir.

FÓRMULA	GRUPOS DE MATERIAIS (CHAPAS)
$\delta = e + 0{,}07\ \sqrt{10 \times e}$	aço
$\delta = e + 0{,}04\ \sqrt{10 \times e}$	metais não ferrosos
$\delta = e + 0{,}02\ \sqrt{10 \times e}$	alumínio
$\delta = e + 0{,}20\ \sqrt{10 \times e}$	metais resistentes ao calor

Por exemplo, para calcular a folga entre a matriz e o punção de um estampo que vai repuxar uma chapa de alumínio com 2 mm de espessura, basta substituir o valor da espessura na fórmula $\delta = e + 0{,}02\ \sqrt{10 \times e}$.

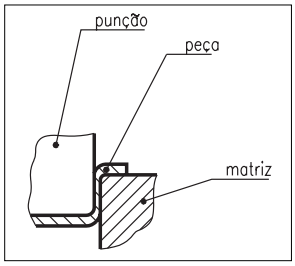
Deste modo: $\delta = 2 + 0{,}02\ \sqrt{10 \times 2} \Rightarrow \delta = 2 + 0{,}09 \Rightarrow \delta = 2{,}09$ mm

Ou seja, como você vê na figura a seguir, a folga entre o punção e a matriz deve ser de 2,09 mm.

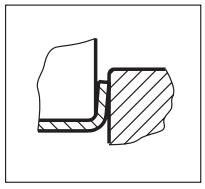


Desse modo, evita-se o excesso de atrito, que provoca rachaduras e marcas na peça repuxada.

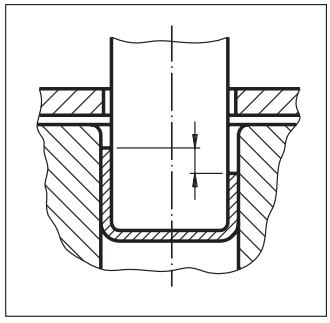
A folga deve ser calculada de modo correto. Se houver erro de cálculo e a folga for menor que o necessário, o material repuxado tende a estirar-se, podendo até romper-se, como mostra a figura.



Se a folga for maior que o necessário, pode haver deformações no perfil. Se a folga for mal distribuída, pode ocorrer variação da altura.



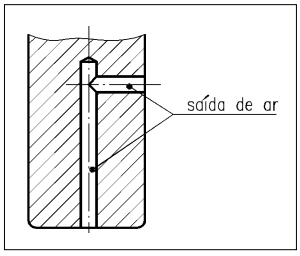
deformação no perfil



variação na altura

Entrada e saída de ar

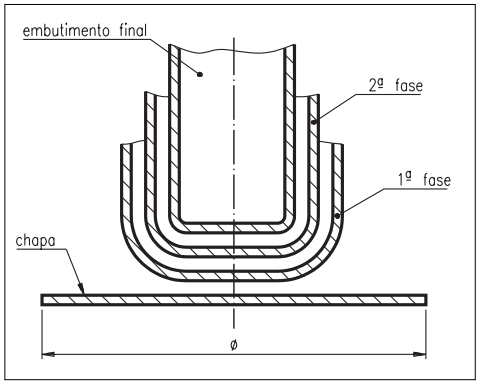
Para facilitar a saída de ar, durante o repuxo, é utilizado um punção provido de orifícios. Eles permitem a livre passagem do ar que se acha debaixo do punção quando ele desce sobre a matriz para moldar a peça e permitem a entrada de ar quando o punção retrocede.



Estágios de uma operação de repuxo

Muitas vezes, uma operação de repuxo durante a produção industrial necessita ser executada em etapas, por meio das quais o produto final vai se completando aos poucos.

Quando não se consegue realizar o repuxo em uma única vez, porque a relação entre o diâmetro do embutimento final e o diâmetro da chapa, conhecido como **blank**, é muito grande, divide-se a operação em estágios até a peça tomar, aos poucos, sua forma final. A figura a seguir apresenta uma representação esquemática dos estágios de conformação de uma peça, por repuxo.



O número de operações necessárias para se obter um repuxo depende da severidade do repuxo β_0 (lê-se beta zero).

Severidade do repuxo (β_0) é a relação entre o diâmetro do blank (D) e o diâmetro do punção (d), ou seja:

$\beta_0 = \frac{D}{d}$, onde a menor severidade é maior que 1.

A severidade máxima (β_0 max) é a condição limite para determinar se o repuxo pode ser feito numa única operação. É função do tipo de material, da sua espessura (e) e do diâmetro interno (d) da peça a ser repuxada. Para calcular o β_0 max usam-se as fórmulas a seguir:

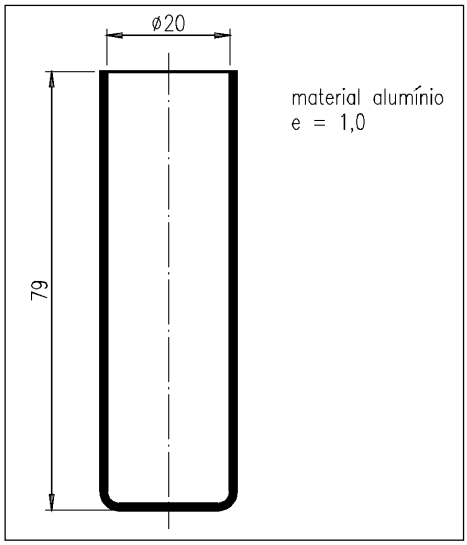
β_0 MAX	MATERIAIS (ADEQUADOS AO REPUXO)
$2{,}15 - 0{,}001 \times \frac{d}{e}$	Aços com baixa porcentagem de carbono (1006 - 1008) Aços inoxidáveis Ligas de cobre Alumínio Ligas de latão
$2 - 0{,}0011 \times \frac{d}{e}$	Aços com alta porcentagem de carbono (1020 -1030) Ligas de cobre e alumínio com maior dureza Brinell

Se a severidade do repuxo for menor ou igual à severidade máxima que o material suporta, é possível fazer a peça em uma única operação. Mas, se a severidade do repuxo for maior que a severidade máxima, será necessário dividir o processo em estágios.

Em resumo:
se $\beta_0 \leq \beta_0$ max $\Rightarrow$ uma operação de repuxo
se $\beta_0 > \beta_0$ max $\Rightarrow$ mais de uma operação de repuxo

Procedimento de repuxar

Se a peça for como a da figura mostrada abaixo, o ponto de partida para a conformação é obter um blank com as dimensões apropriadas.



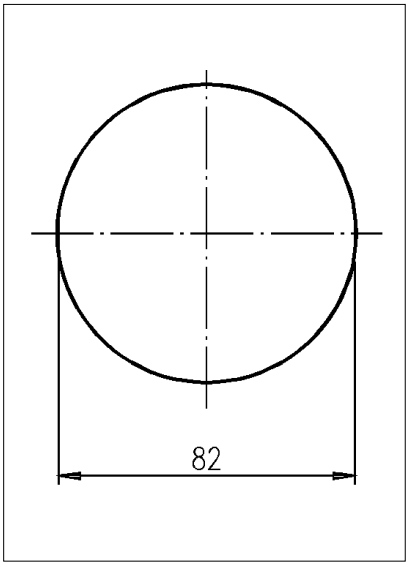
As dimensões do blank podem ser calculadas por gráfico ou por fórmula matemática. Para calcular matematicamente o diâmetro do blank de uma peça simples, sem abas, utilizamos a fórmula abaixo:

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \times d \times h}$$

Substituindo os termos da fórmula pelos valores conhecidos, temos:

$$D = \sqrt{20^2 + 4 \times 20 \times 79} \Rightarrow D = 81{,}97 \Rightarrow D \cong 82 \text{ mm}$$

Consegue-se assim uma chapa com forma e dimensões adequadas ao repuxo.



O passo seguinte é determinar a quantidade de estágios necessários para realizar a operação. Para isso, devemos calcular a severidade do repuxo e a severidade máxima usando as fórmulas:

$$\beta_0 = \frac{D}{d} \quad \text{e} \quad \beta_0 max = 2{,}15 - 0{,}001 \times \frac{d}{e}$$

Que tal fazer esses cálculos e depois conferir os resultados?

Pare! Pesquise! Resolva!

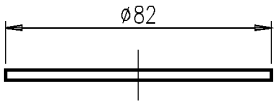
$\beta_0 =$
$\beta_0 max =$

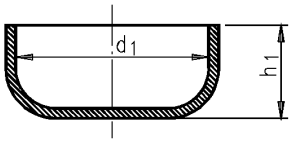
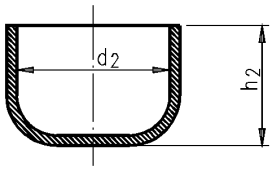
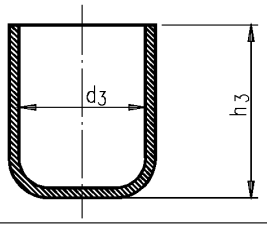
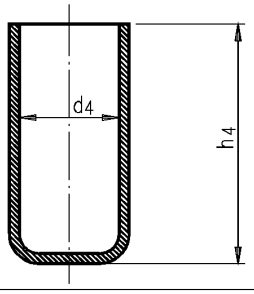
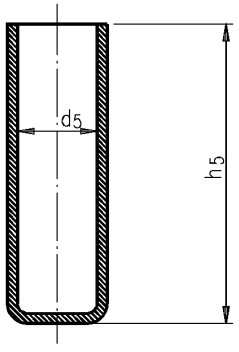
Se você fez os cálculos corretamente, deve ter chegado à conclusão que β_0 é igual a 4,1 mm e $\beta_0 max$ é igual a 2,13 mm.

Ora, uma vez que β_0 é maior que $\beta_0 max$, ou seja, 4,1 mm > 2,13 mm, a operação de repuxo deverá ser feita em mais de um estágio.

Para determinar o número de estágios, deve-se levar em conta que no primeiro estágio deve haver uma redução de 40% (ou 0,6) do diâmetro do blank. Nos demais estágios, a redução deve ser de 20% (ou 0,8), até que se obtenha o diâmetro interno desejado (d_n).

Agora já podemos calcular quantos estágios são necessários para conformar a peça mostrada anteriormente. Acompanhe a demonstração dos cálculos, passo a passo, a seguir.

ferramenta de corte	
blank	

estágios	cálculos	ferramentas de repuxo
1º	$d_1 = D \times 0,6$ $d_1 = 82 \times 0,6 = 49,2$ $d_1 = 49$	
2º	$d_2 = d_1 \times 0,8$ $d_2 = 49 \times 0,8 = 39,2$ $d_2 = 31$	
3º	$d_3 = d_2 \times 0,8$ $d_3 = 39 \times 0,8 = 31,2$ $d_3 = 31$	
4º	$d_4 = d_3 \times 0,8$ $d_4 = 31 \times 0,8 = 24,8$ $d_4 = 25$	
5º	$d_5 = d_4 \times 0,8$ $d_5 = 25 \times 0,8 = 20$ $d_5 = 20$	

Neste caso será necessária uma ferramenta para cortar o diâmetro do blank e mais 5 ferramentas, uma para cada estágio, até chegar ao produto final.

AULA

72

Lubrificação

Na operação de repuxar, utilizam-se diferentes lubrificantes, cada um correspondendo a um material de trabalho. A função da lubrificação é diminuir a resistência ao deslizamento, reduzir esforços desnecessários, evitar peças defeituosas e desgaste prematuro do estampo.

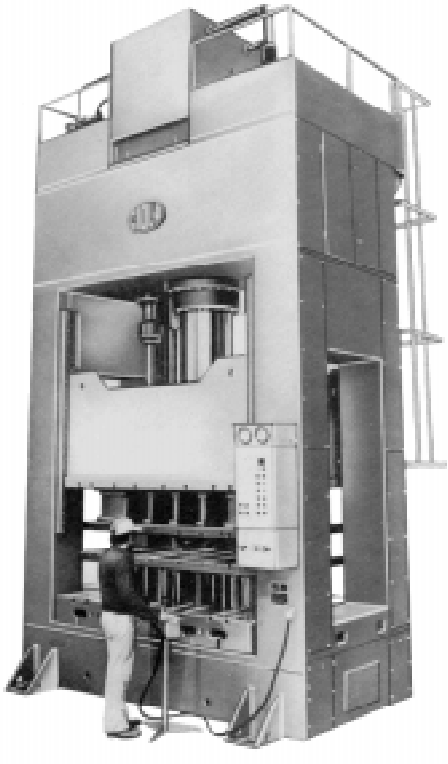
Para o emprego dos lubrificantes devem-se usar apenas produtos de qualidade comprovada. Além disso, é recomendável seguir as indicações do fabricante.

Os produtos de lubrificação podem ser usados puros ou diluídos. De modo geral, empregam-se os produtos diluídos. Observe, a seguir, o quadro que relaciona os materiais e seus lubrificantes correspondentes.

MATERIAL	LUBRIFICANTE
Aços	Sabão em pasta, óleo de rícino, talco, emulsões de óleos minerais
Alumínio e suas ligas	Querosene, óleo de coco, vaselina, sebo, óleo grafitado
Zinco, estanho, chumbo e metal branco	Sebo
Cobre, bronze e latão	Óleo mineral grosso, pasta de sabão com água, petróleo grafitado
Aço inoxidável	Água grafitada

Prensas

A operação de repuxar pode ser realizada em tipos diferentes de prensa. Dependendo da força necessária, das dimensões da peça e da produção desejada, a seleção da prensa correta é um fator de grande produtividade. Existem vários tipos de prensa, com diferentes estruturas e funcionamento. Exemplos: prensa de fricção, prensa excêntrica, prensa de alavanca e prensa hidráulica. Dessas, a **hidráulica** é a mais indicada para a operação de repuxo. Ela permite grandes pressões em grandes profundidades de repuxo.



A prensa hidráulica (figura ao lado) apresenta a vantagem de facilitar a regulagem da pressão do óleo, evitando com isso a formação de rugas. Como já foi explicado, isso permite utilizar somente a força necessária do prensa-chapas, de modo controlado.

Agora, vamos ver o que você aprendeu. Faça os exercícios e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Repuxo é:

a) ( ) processo de cortar chapas metálicas;
b) ( ) processo pelo qual uma chapa adquire forma volumétrica;
c) ( ) operação de esticar metal até formar uma peça;
d) ( ) operação de dobrar chapas metálicas.

Exercício 2

Os estampos de repuxo são formados basicamente por:

a) ( ) punção e matriz;
b) ( ) torno repuxador e morsa;
c) ( ) extrator e prensa-chapas;
d) ( ) prensa e matriz.

Exercício 3

Sujeitador é o mesmo que:

a) ( ) repuxo
b) ( ) prensa-chapas
c) ( ) porta-punção
d) ( ) extrator

Exercício 4

Severidade máxima ($\beta_0 max$) é:

a) ( ) a relação entre o diâmetro do blank e o diâmetro da matriz;
b) ( ) a condição limite para repuxar a peça de uma só vez;
c) ( ) a relação entre o diâmetro do punção e o diâmetro do blank;
d) ( ) a diferença entre o diâmetro do punção e o diâmetro da matriz.

Exercício 5

A prensa mais adequada para repuxar chama-se:

a) ( ) excêntrica
b) ( ) hidráulica
c) ( ) de manivela
d) ( ) de fricção

AULA

73

Adesivos I

Dona Eulália estava irritadíssima com o gotejamento de água do sifão da pia de sua cozinha. O gabinete da pia era de madeira e as prateleiras viviam úmidas.

Chamando o seu Zé das Quantas, que se dizia encanador, para resolver o problema, observou que ele substituiu um anel de borracha entre duas conexões por um barbante de sisal. O anel de borracha era um vedante. Montado o sifão, seu Zé das Quantas garantiu que não haveria mais vazamento. Dona Eulália pagou-lhe o serviço e o dito encanador escafedeu-se.

Dois dias depois, dona Eulália verificou que o gotejamento de água não havia sido eliminado. Constatou, com ira redobrada, que havia sido ludibriada por um espertalhão que nada entendia de vedação.

Passando a mão em uma lista telefônica, chamou seu Zé Anaeróbico e o informou a respeito do que estava ocorrendo. Seu Zé Anaeróbico, no mesmo dia, resolveu o problema definitivamente. Desmontou o sifão, jogou fora o barbante de sisal, limpou as conexões com um lixa e aplicou um vedante líquido entre elas. Montou o conjunto e deixou, por escrito, a garantia do serviço.

Nunca mais houve vazamento no sifão da pia da cozinha de dona Eulália.

Como seu Zé Anaeróbico sabia que teria de lixar as conexões? Que tipo de vedante ele utilizou? Como ele pôde garantir o serviço?

Nesta aula estudaremos um pouco a respeito de adesivos, e você compreenderá como o seu Zé Anaeróbico soube resolver o problema de dona Eulália.

Conceito de adesivo

Adesivo é uma substância capaz de conservar materiais unidos pela ligação das superfícies. Os adesivos podem ser descritos segundo os seguintes parâmetros:

- forma física: adesivo líquido, adesivo de fita;
- tipo químico: adesivo de silicato, adesivo de resina;
- finalidades: adesivo para papel, adesivo para metais, adesivo para plásticos e adesivo para borrachas;

- mecanismo de cura: adesivos de cura a quente e adesivo de cura à temperatura ambiente.

Tecnicamente as superfícies a serem unidas por um adesivo são chamadas de **substratos.**

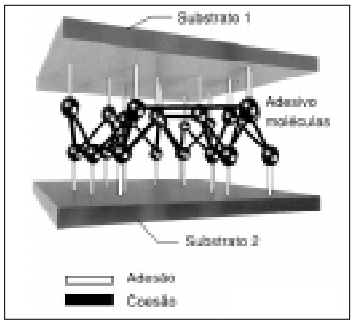
Conceito de adesão

Adesão é a força de união entre o adesivo e o substrato.

Conceito de coesão

Coesão são forças provenientes das interações químicas entre as partículas (átomos, íons , moléculas) que compõem o adesivo, mantendo-as unidas.

A figura ao lado mostra, claramente, em nível estrutural, o fenômeno da adesão e da coesão.



Mecanismos de cura

Muitos adesivos são polímeros reativos. Eles mudam do estado líquido para o sólido por meio de várias reações de **polimerização**, e essa mudança de estado físico recebe o nome de **cura**.

Polimerização: Processo em que duas ou mais moléculas de uma mesma substância, ou dois ou mais grupamentos atômicos idênticos, se reunem para formar uma estrutura de peso molecular múltiplo das unidades iniciais e, em geral, elevado.

Classificação dos adesivos segundo as propriedades de cura

Segundo as propriedades de cura, os adesivos podem ser classificados em cinco categorias que serão estudadas a seguir:

Adesivos anaeróbicos

São materiais monocomponentes que se solidificam à temperatura ambiente quando privados do contato com o oxigênio. O componente de cura permanece inativo no líquido, enquanto estiver em contato com o oxigênio do ar. Por exemplo, se o adesivo é privado do oxigênio atmosférico na união de peças, a cura ocorre rapidamente, especialmente se as peças forem de natureza metálica como aço, latão, bronze, cobre, ferro etc.

Os adesivos curados por reação anaeróbica apresentam as seguintes características:

- oferecem alta resistência ao cisalhamento;
- podem operar dentro da seguinte faixa de temperaturas : -55°C a 230°C;
- resistem à vibração;
- resistem às cargas dinâmicas;
- dispensam acabamento, pois rugosidades entre 8 µm e 40 µm são aceitáveis;
- são excelentes vedantes;

- sofrem cura rápida;
- são fáceis de aplicar.

Adesivos curados pela ação de luz ultravioleta (UV)

O tempo de cura destes adesivos depende da intensidade e do comprimento de onda da luz ultravioleta. Desse modo, a polimerização iniciada pela luz ultravioleta exigirá sempre a coordenação exata do produto e da fonte de radiação ultravioleta.

Os adesivos curados pela luz ultravioleta apresentam as seguintes características:

- alta resistência;
- alta capacidade de preenchimento de folga;
- tempo de cura pequeno;
- resistência ao meio ambiente;
- facilidade de aplicação.

Adesivos curados por reação aniônica

Nessa categoria temos os adesivos cianocrilatos que polimerizam em contato com superfícies levemente básicas ou alcalinas. Em geral, a umidade ambiente no ar e na superfície de adesão são suficientes para iniciar a cura.

Os melhores resultados são alcançados quando o valor da umidade relativa do ar for de 40% a 60%.

Após a aplicação do adesivo, as peças devem ser unidas rapidamente, uma vez que a polimerização começa em apenas alguns segundos.

Adesivos cianocrilatos devem ser aplicados com moderação em apenas uma superfície. A melhor adesão somente é alcançada se for aplicado adesivo suficiente para preencher a folga da montagem.

As principais características dos adesivos curados por reação aniônica são as seguintes:

- resistência ao cisalhamento e às tensões muito altas;
- velocidade de cura muito rápida;
- boa resistência ao envelhecimento;
- efeito de vedação simultâneo;
- capacidade de unir quase todos os materiais;
- facilidade de aplicação;
- economia em termos de consumo.

Adesivos curados com sistemas ativadores

Esses adesivos curam à temperatura ambiente quando utilizados com ativadores. O adesivo e o ativador são aplicados separadamente nas superfícies de adesão.

As propriedades desses adesivos são:

- resistência ao cisalhamento e as tensões muito altas;
- boa resistência ao impacto;
- larga faixa de temperatura de trabalho: –55˚C a 120˚C;
- boa resistência ao meio ambiente;
- capacidade de unir quase todos os materiais.

Adesivos curados por meio da umidade do ambiente

Estes adesivos/vedantes polimerizam, na maioria dos casos, por meio da reação de condensação que implica uma reação com a umidade do ambiente. Dois tipos químicos gerais de adesivos se enquadram nesta categoria: silicones e uretanos.

Os silicones endurecem à temperatura ambiente por meio da reação com a umidade do ambiente. O silicone de borracha sólida, por exemplo, apresenta excelente resistência térmica; baixo módulo de elasticidade; alto alongamento e é um ótimo vedante para uma grande variedade de fluidos.

Os poliuretanos, pertencentes à família dos uretanos, são formados por meio de um mecanismo em que a água, na maioria dos casos, reage com aditivos contendo grupos de isocianetos. Os poliuretanos apresentam excelente resistência e flexibilidade e são muito bons para preencher folgas de até 5 mm.

Pré-tratamento das superfícies a serem aderidas

O pré-tratamento correto das superfícies é necessário para que ocorra uma ótima adesão e ele pode envolver as seguintes operações: desengraxe, abrasão mecânica, ionização das superfícies e aplicação de primers.

Desengraxe das superfícies a serem aderidas

A remoção completa de óleo, graxa, poeira e outros resíduos das superfícies é exigida para a melhor união possível do adesivo. Os solventes que evaporam sem resíduos são adequados para isso. Em se tratando de superfícies de ferro fundido de cor acinzentada e ferro fundido nodular, é necessária a limpeza mecânica adicional para remover o grafite da área superficial.

Abrasão mecânica

As superfícies metálicas manchadas são freqüentemente cobertas de óxido que não pode ser removido pelo desengraxe. Nesses casos o pré-tratamento das superfícies pode ser efetuado por meio de jateamento, lixamento ou com uma escova provida de cerdas metálicas.

O jateamento é recomendado para a limpeza de grandes superfícies, e a rugosidade alcançada por esse método proporciona resultados de adesão muito bons, desde que o jateamento seja aplicado corretamente.

O lixamento também promove uma boa rugosidade superficial. Nesse caso, é importante utilizar uma lixa com aspereza adequada. Por exemplo, para o alumínio a grana da lixa deve estar compreendida entre 300 a 600. Trata-se de uma grana ultrafina. Para o aço recomenda-se uma lixa com grana 100, ou seja, uma lixa com grana fina.

Peças muito sujas devem ser desengraxadas antes do tratamento mecânico para garantir que os abrasivos utilizados no jateamento ou na lixa não venham a agravar as superfícies contaminadas.

Ionização das superfícies

O pré-tratamento das superfícies muda a sua polaridade e a sua energia. Dependendo do material, da geometria da peça de trabalho, da seqüência da produção e do número de peças, a ionização pode ser efetuada por chama, pelo processo corona ou por plasma de baixa pressão.

Primers

Primers são revestimentos aplicados a uma superfície, antes da aplicação de um adesivo, para melhorar o desempenho de uma adesão.

Uma vantagem importante do primer, comparado aos outros métodos de pré-tratamento de ionização, reside em seu manuseio simples. Ele é vaporizado ou pincelado sobre os substratos com uma camada tão fina quanto possível. Após um breve período de secagem (10 a 60 s), o adesivo é aplicado normalmente e as peças unidas.

Teste de capacidade de umedecimento

Os processos de limpeza podem ser avaliados com o **teste de interrupção de água.** Esse teste é realizado da seguinte maneira: aplicam-se várias gotas de água destilada sobre a superfície supostamente limpa. Se a superfície estiver inadequadamente limpa, as gotas permanecerão praticamente retidas sobre ela; porém, se a superfície estiver bem limpa, as gotas escorrerão.

O teste com interrupção de água não é adequado para revestimentos anódicos sobre alumínio e magnésio, e o teste pode ser afetado pela dureza da água que afeta a tensão superficial. Há, no mercado, fluidos apropriados para esse teste, com tensões superficiais definidas.

Salientemos que o teste de interrupção de água ou de um fluido apropriado abrange apenas a capacidade de umedecimento da superfície e não a capacidade de adesão do adesivo.

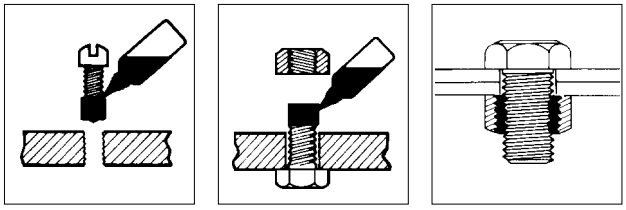
Usos das resinas anaeróbicas

As resinas anaeróbicas existentes no mercado estão disponíveis em diferentes níveis de viscosidade e resistência. Isso permite opções específicas para uma ampla gama de necessidades. Entre os benefícios e vantagens de seu uso, podemos citar:

- 100% de contato entre as partes (peças/polímero);
- baixo custo por aplicação;
- prevenção contra infiltração de substâncias oxidantes nas áreas aplicadas;
- automatização;
- cura à temperatura ambiente;
- alta resistência a solventes;
- alta resistência a variações térmicas;
- alta resistência a vibrações;
- desmontagem com ferramentas convencionais;
- produtos não-inflamáveis e isentos de solventes;
- não sofrem contrações.

Travamento anaeróbico

O travamento anaeróbico é indicado para travar parafusos, porcas e prisioneiros. Os produtos comerciais utilizados para o travamento estão disponíveis para aplicações que requeiram baixo, médio ou alto torque de desmontagem, substituindo, com vantagens, o uso de arruelas comuns, arruelas especiais, porcas autotravantes, cupilhas, insertos plásticos, parafusos trilobulares, grampos etc.



Adesão estrutural anaeróbica

Os adesivos estruturais visam aplicações que serão submetidas a múltiplos esforços, altas temperaturas, umidade, peeling (descamação), umidade e impactos. No mercado esses adesivos são encontrados nas versões de cura anaeróbica ou de cura por incidência de luz ultravioleta.

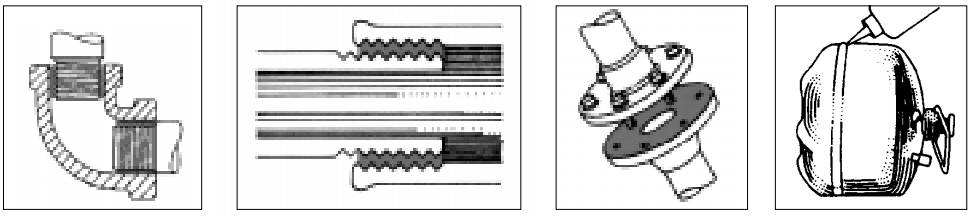
O universo de aplicações desses adesivos abrange desde a adesão de chips e agulhas descartáveis, até alto-falantes e chapas metálicas.

Outra vantagem está na agilização das linhas de montagem, por meio da eliminação de onerosos dispositivos de cura que os adesivos convencionais solicitam (estufas, grampos, pré-misturas etc.).

Vedação anaeróbica

Os vedantes anaeróbicos são indicados para aplicações em vedações de gases e líquidos. Esses vedantes não reduzem seu volume após a cura e também não dilatam ou ressecam antes ou durante a montagem, como ocorre com os elementos convencionais de vedação (fitas, juntas pré-formadas, vernizes e elastômetros).

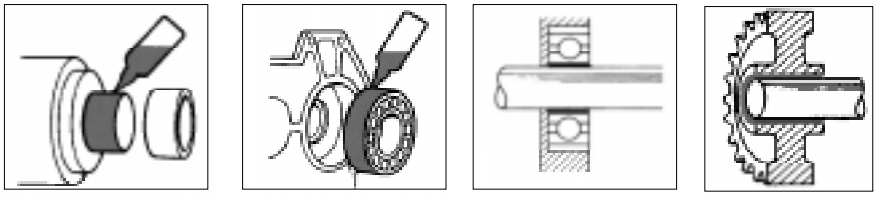
Os vedantes anaeróbicos permitem a vedação de elementos roscados, flanges e microporosidades.



Fixação anaeróbica

Os produtos anaeróbicos para fixação de peças cilíndricas são indicados para montagens de engrenagens, rolamentos e buchas em eixos e sedes. O produto, confinado entre as peças, preenche todos os microespaços existentes entre os componentes. O contato entre as peças e o polímero é 100%.

Eliminando o jogo em montagens chavetadas ou estriadas, esses produtos garantem a integridade das montagens, evitando a ovalização, folgas e corrosão.



Pelo que foi comentado, pode-se perceber que os adesivos são um importante e eficiente recurso para a montagem de componentes mecânicos, elétricos e eletromecânicos por causa de sua ampla gama de aplicações. Suas características específicas, aliadas à facilidade de aplicação, favorecem as adesões e vedações de centenas de componentes construídos em plásticos, metais, madeira, fibras, vidro, borracha etc.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1
O que são adesivos?

Exercício 2
O que é substrato?

Exercício 3
O que é coesão?

Exercício 4
O que são adesivos anaeróbicos?

Exercício 5
O que são primers?

AULA

74

Adesivos II

Seu Zé das Quantas, sentindo remorsos por ter "pisado em tantas bolas" como encanador, resolveu atualizar-se. Estava disposto a estudar, com afinco, todas as formas de vedação. Se tivesse outros conhecimentos, melhoraria seu desempenho como encanador e poderia trabalhar em outros segmentos.

Inscreveu-se num teleposto do Telecurso 2000 e, paralelamente, buscou informações nos fabricantes de adesivos, onde foi muito bem recebido.

Motivado para adquirir os conhecimentos, conheceu o seu Zé Anaeróbico, que lhe deu todo o apoio.

Ficou por dentro e sabia explicar, com clareza, o que era uma trava química. Aprendeu a unir flanges e outros componentes mecânicos e compreendeu como os adesivos podem ser úteis na eletrônica!

Nesta aula, estudaremos um pouco mais a respeito de adesivos, tentando seguir os passos do seu Zé das Quantas, que atualmente é dono de uma empresa de prestação de serviços. Outros detalhes, especialmente a respeito de travamento e fixação, serão abordados.

Travamento

Nossa aula

O parafuso hidráulico, inventado por Arquimedes (287-212 a.C.), conduziu ao desenvolvimento de travas rosqueadas, hoje comuns a toda tecnologia de conexão. O travamento de superfícies rosqueadas consiste unicamente no aumento do atrito entre as roscas macho e fêmea.

A trava química auxilia a montagem com uma lubrificação adequada e, depois da polimerização, o produto preenche os requisitos normais de desmontagem, ou seja, a preservação do atrito desejado para a não desmontagem com esforços inferiores aos desejados. Com isto, eliminam-se torques adicionais de montagem.

Por exemplo, no acoplamento de uma porca e parafuso, a presença de óleo facilita a operação de montagem e desmontagem porque ele permanece inalterado; contudo, não evita o afrouxamento e o auto-afrouxamento.

Uma montagem rosqueada afrouxa quando há uma alteração permanente no comprimento do parafuso, na direção de seu eixo ou quando o próprio substrato afrouxa, como em superfícies vedadas. O auto-afrouxamento ocorre quando a montagem rosqueada apresenta movimentos de deslize entre as superfícies de contato.

A trava química possui a vantagem de lubrificar as roscas durante a montagem e, após um certo tempo, se polimerizar. Polimerizando-se, a trava se endurece e oferece maior resistência à desmontagem.

De fato, para se desmontar o acoplamento entre uma porca e um parafuso travados quimicamente, exige-se o cisalhamento ou quebra do produto polimerizado. O afrouxamento e o auto-afrouxamento são eliminados com o uso de travas químicas.

Tipos de travamento

Os principais tipos de travamento são os mecânicos:

- grampo travante;
- porca com arruela dentada pré-montada;
- inserto de náilon;
- porca bimetálica ou com inserto de náilon;
- enchimento de náilon no parafuso;
- rosca autodeformante;
- arruela dentada pré-montada;
- arruela dentada.

Adesivos anaeróbicos e travamento

Os adesivos, dentre eles os anaeróbicos, sem dúvida alguma estão entre os meios mais eficazes para o travamento de parafusos. Sendo líquidos, eles preenchem completamente as folgas microscópicas entre as roscas de interface.

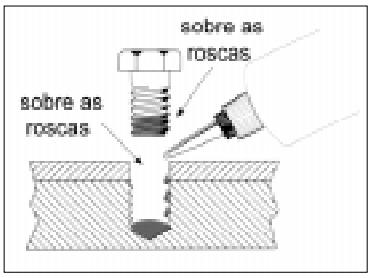
Eles se transformam num sólido resistente quando entram em contato com metal na ausência de ar. Nessa condição, o adesivo cria uma conexão interfacial ancorando-se à rugosidade da superfície e evitando qualquer movimento das roscas.

É importante que o comprimento total da rosca seja umedecido e que não haja restrição à cura do adesivo, pois certos óleos ou sistemas de limpeza podem impedir, ou até mesmo evitar, a cura completa dos adesivos por meio de reação anaeróbica.

O adesivo líquido pode ser aplicado manualmente ou com o auxílio de equipamentos dosadores especiais.

O umedecimento adequado de uma rosca depende dos seguintes parâmetros: tamanho da rosca, viscosidade do adesivo e geometria das peças. Se as peças são de grandes dimensões, o umedecimento de ambas as faces proporcionará a confiabilidade necessária para a aplicação adequada do adesivo.

Com roscas de furo cego, é essencial que o adesivo seja aplicado desde a parte inferior do furo roscado. A quantidade deve ser tal que, após a montagem, o adesivo deslocado preencha o comprimento total da rosca.



Se não se quer uma aplicação manualdo adesivo em uma linha de montagem contínua, ou se os dosadores não podem ser utilizados, então os parafusos pré-aplicados com adesivo são uma alternativa.

Microcápsulas que contêm um ingrediente ativo são aplicadas nas roscas, como uma película seca de revestimento adesivo. Quando o parafuso é montado, as cápsulas são rompidas, causando a reação química que resultará numa força de travamento. O auto-afrouxamento do parafuso é evitado.

Parafusos pré-aplicados são tratados e armazenados como material normal de estoque.

Eles também proporcionam vantagens para sistemas de qualidade. A quantidade de adesivo aplicada no revestimento é consistente devido ao controle de qualidade constante realizado por empresas de revestimento especializadas. Equipamentos de montagem já existentes podem, geralmente, ser adaptados para utilizar parafusos pré-aplicados sem alterar a ferramentaria.

Vedação de flange

Os materiais de vedações evitam o vazamento de líquidos e gases formando barreiras impermeáveis entre dois flanges encaixáveis.

As vedações de fluidos são divididas em sistemas dinâmicos e estáticos, dependendo se as partes se movem uma em relação à outra.

Os flanges são classificados como sistemas estáticos, embora se movam por causa da vibração, temperatura e/ou alterações de pressão, choques, impactos etc.

Existem três tipos de vedação de flange:

- as juntas de compressão convencionais de cortiça, papel, borracha, metal e outros materiais livres de amianto;
- as juntas de compressão líquidas “cured-in-place” (CIP – curadas no lugar) que curam em segundos com luz ultravioleta antes da montagem;
- as vedações líquidas “formed-in-place”(FIP – moldadas no lugar) que se curam depois que as peças foram montadas.

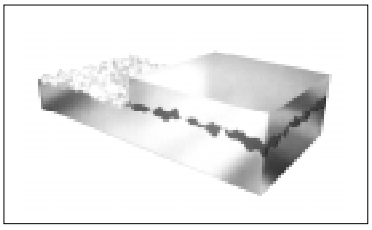
Todas as vedações devem desempenhar quatro funções:

- criar vedações;
- manter vedações;
- permanecer impermeável ao fluxo de fluidos;
- permanecer compatível com o maquinário.

As vedações de silicone FIP são apropriadas para juntas de baixa pressão com potencial de folga ampla como chapas de cobertura de metal estampado. As vedações anaeróbicas FIP vedam juntas de alta pressão quando ambas as superfícies estão firmes.

As vedações CIP são ideais para vedar juntas que podem ser freqüentemente consertadas.

As vedações FIP começam como líquidos aplicados em uma das superfícies da junta do flange. Quando as peças são montadas, o material FIP flui para dentro dos espaços vazios, folgas e marcas de arranhaduras formando uma vedação durável depois da cura. Os dois tipos mais comuns de materiais FIP são os silicones RTV (vulcanização à temperatura ambiente) e componentes anaeróbicos.



As vedações FIP sobre juntas de compressão pré-cortadas apresentam as seguintes vantagens:

- confiabilidade;
- custos reduzidos;
- facilidade na aplicação;
- facilidade na manutenção.

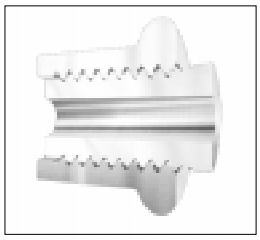
Estudos revelam que o contato efetivo metal com metal entre as superfícies de contato das peças mais cuidadosamente acabadas não excede de 25% a 35%. Os vedantes líquidos para flanges preenchem a rugosidade da superfície completamente, produzindo 100% de contato.

Vedação de conexões rosqueadas

Os vedantes de roscas evitam o vazamento de gases e líquidos pelas conexões dos tubos. Tais juntas são consideradas dinâmicas devido à vibração, variações de pressão e/ou temperatura.

Dentro da linha dos adesivos temos os vedantes de roscas que são formulados para proporcionar uma vedação intensificada de fluidos (gases e líquidos) para montagem e sistemas de tubulação até 204ºC.

Esses produtos são projetados para o uso em tubulações metálicas tais como ferro fundido, aço-carbono e aço inoxidável.



Vedantes de rosca líquidos geralmente não são recomendados para uso na maioria dos termoplásticos.

Há cinco fatores a serem considerados na seleção de um adesivo para conexões roscadas:

- resistência do fluido requerido;
- tamanho máximo do tubo;
- tipo de rosca (isto afeta a tolerância);
- dificuldade para desmontagem (é necessário aquecimento);
- tempo para alcançar uma vedação do fluido.

Os adesivos também encontram aplicações em vedações de porosidades de elementos mecânicos, na vedação de montagens cilíndricas e em outras montagens da indústria metal-mecânica, inclusive na indústria automobilística.

As ilustrações a seguir mostram algumas aplicações dos adesivos na indústria automotiva.

Fixação

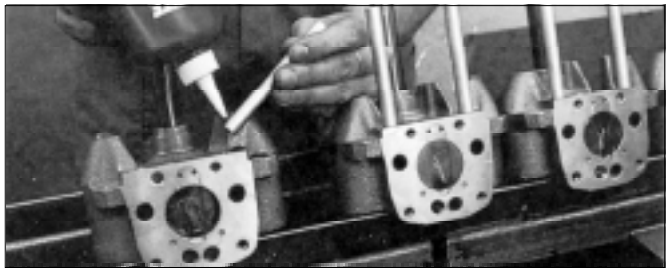
Os adesivos anaeróbicos para fixação de peças cilíndricas são indicados para montagens de engrenagens, rolamentos e buchas em eixos e sedes e substituem ou complementam métodos mecânicos de montagem como interferências (prensagem e/ou dilatação/contração térmica), chavetas, estriagem e montagens cônicas.

O adesivo, confinado entre as peças metálicas, preenche todos os microespaços existentes entre os componentes. Funcionando como microchavetas ancoradas às rugosidades microscópicas presentes na superfície das peças, o adesivo garante 100% de contato entre as peças e o polímero.

O uso dos produtos anaeróbicos para fixação aumenta a resistência ao cisalhamento em até duas vezes à obtida por interferência mecânica.

Eliminando o jogo em montagens chavetas ou estriadas, os adesivos anaeróbicos de fixação garantem a integridade das montagens, evitando a ovalização, folgas e corrosão e aumentando a confiabilidade do conjunto.

A aplicação de adesivos anaeróbicos de fixação permite montagens por deslizamento, reduzindo a necessidade de acabamento requerido nas tolerâncias de alta precisão, além de eliminar trincas em sedes e empenamento de eixos em conseqüência da alta interferência em montagens por prensagem.



Montagens eletrônicas

A indústria eletrônica é uma das que mais crescem atualmente. A evolução das placas de circuito impresso nos últimos quarenta anos abriu novas perspectivas com relação às tecnologias de adesão, vedação, revestimento e proteção.

As placas nos anos 50 e 60 possuíam circuito em apenas um lado. No início dos anos 60 houve a evolução das placas com orifícios perfurados que permitiam a interconexão das placas multicamadas – chamada tecnologia do furo atravessante (*through-hole*). Com o aumento das densidades e complexidades do circuito, surgiu a necessidade de placas multicamadas com diversos circuitos sobrepostos. Hoje, as placas multicamadas dominam a indústria.

A tendência principal no projeto de placas e na tecnologia de fabricação é a miniaturização. Nos anos 80, a miniaturização de placas e componentes foi direcionada para a SMT (tecnologia de montagem de superfície). Com a SMT, os contatos do componente são diretamente soldados às plataformas (pads) de soldagem na superfície da placa, eliminando furos e conexões através dela.

Colaborando com as indústrias eletrônicas, as indústrias que fabricam adesivos também direcionam-se para as montagens de placas de circuitos impressos. As colaborações visam os seguintes itens:

- adesão de componentes montados em superfície;
- fixação de fios;
- revestimento de placas de circuito impresso montadas;
- proteção e encapsulamento de componentes.

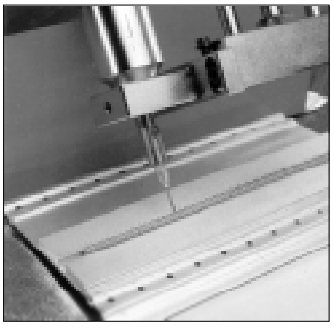
Requisitos do adesivo

O adesivo posicionado entre as plataformas de soldagem fixa o componente à placa. Pode ser aplicado à placa utilizando-se diversos métodos: impressão com tela, transferência de adesivo ou por seringa de dosagem.

Após o componente ter sido posicionado, o adesivo deve ter resistência suficiente para, enquanto úmido ou não curado, permitir que o componente permaneça na posição até estar curado.

O adesivo curado deve ter então resistência suficiente para manter o dispositivo unido à placa durante a passagem da onda de soldagem. Após a soldagem, o adesivo, agora supérfluo, não pode afetar o circuito de nenhuma maneira. Para estar de acordo com essas exigências, o adesivo deverá:

- estar livre de contaminantes e bolhas de ar;
- ter uma longa vida útil;
- permitir uma rápida aplicação na forma de gotas muito pequenas;
- apresentar resistência enquanto não curado;
- sofrer cura rápida;
- não deformar durante o ciclo de cura (aquecimento);
- ter alta resistência combinada com flexibilidade, resistência contra choque térmico/onda de soldagem;
- cor compatível para detecção visual e automática;
- ter gota de perfil alto, sem formar fio;
- ter consistência no tamanho e perfil da gota;
- ter boas propriedades elétricas quando curado.



Resumo

Pelo que foi visto na aula anterior e nesta aula, os adesivos foram criados para facilitar os processos de fabricação. Eles contribuem para baratear os custos dos produtos, aumentar a vida útil dos componentes de máquinas e equipamentos, facilitar a manutenção, enfim, trazer benefícios e conforto para fabricantes e usuários.

Pare! Estude! Responda!

Assinale com X a alternativa correta.

Exercício 1

O travamento de superfícies rosqueadas consiste basicamente em:

a) ( ) anular o atrito entre as roscas macho e fêmea;
b) ( ) diminuir o atrito entre as roscas macho e fêmea;
c) ( ) aumentar o atrito entre as roscas macho e fêmea;
d) ( ) igualar o atrito entre as roscas macho e fêmea;
e) ( ) dividir o atrito entre as roscas macho e fêmea.

Exercício 2

Uma montagem rosqueada afrouxa quando ocorre uma alteração permanente:

a) ( ) na cabeça do parafuso;
b) ( ) na ponta do parafuso;
c) ( ) no comprimento do parafuso;
d) ( ) no diâmetro do parafuso;
e) ( ) na lateral do parafuso.

Exercício 3

O auto-afrouxamento ocorre quando a montagem rosqueada apresenta movimentos entre as superfícies em contato. Esses movimentos são do tipo:

a) ( ) circular contínuo;
b) ( ) circular de translação;
c) ( ) retilíneo alternativo;
d) ( ) deslizante;
e) ( ) circular de rotação e translação.

Exercício 4

Os produtos anaeróbicos usados para fixação de montagens cilíndricas, comparados aos dispositivos mecânicos (chavetas, montagens estriadas), apresentam maior resistência:

a) ( ) ao cisalhamento;
b) ( ) à compressão;
c) ( ) à torção;
d) ( ) ao alongamento;
e) ( ) ao impacto.

Exercício 5

Os flanges são classificados como sistemas:

a) ( ) inertes;
b) ( ) estáticos;
c) ( ) dinâmicos;
d) ( ) ultra-sônicos;
e) ( ) cinemáticos.

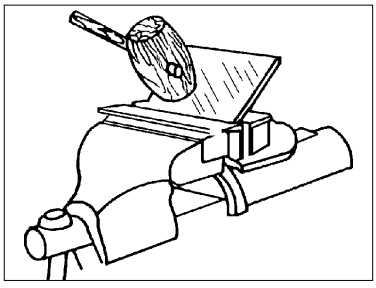
AULA

75

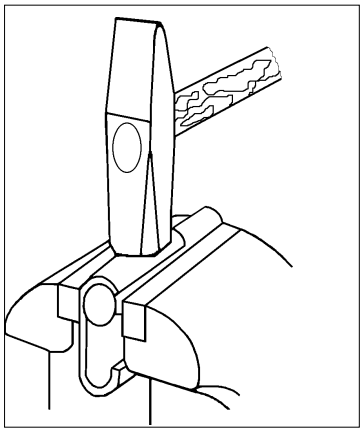
Dobramento e curvamento

Nesta aula você vai conhecer um pouco do processo pelo qual são produzidos objetos dobrados de aspecto cilíndrico, cônico ou em forma prismática a partir de chapas de metal. Vamos estudar as máquinas de dobrar e curvar, os cuidados a serem tomados durante essas operações e como se efetuam essas operações em grande escala.

Deformação por flexão



Dobramento é a operação que é feita pela aplicação de *dobra* ao material. **Dobra** é a parte do material plano que é flexionada sobre uma base de apoio. Na ilustração ao lado vemos uma chapa presa a uma morsa de bancada sendo **dobrada** com o auxílio de um macete.



Curvamento é a operação feita pela aplicação de *curva* ao material produzido. **Curva** é a parte de um material plano que apresenta uma curvatura ou arqueamento. Na figura ao lado vemos uma operação de curvamento de uma chapa com o auxílio de um dispositivo cilíndrico preso à morsa. O curvamento da chapa é obtido por meio das pancadas de martelo.

Nas operações de curvamento e dobramento, o esforço de flexão é feito com intensidade, de modo que provoca uma deformação permanente no material.

Dobramento

O dobramento pode ser feito manualmente ou à máquina. Quando a operação é feita manualmente, usam-se ferramentas e gabaritos. Na operação feita à máquina, usam-se as chamadas **prensas dobradeiras** ou **dobradeiras**. A escolha de utilização de um ou outro tipo de operação depende das necessidades de produção.

Nossa aula

AULA
75

A operação de dobramento é feita, na maior parte das vezes, a frio. Pode ainda ser feita a quente, em casos especiais.

Deformação plástica e elástica

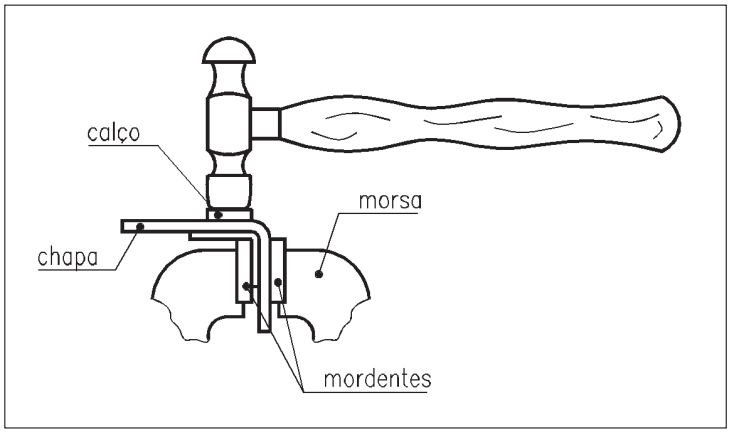
A operação de dobramento provoca uma deformação permanente no material trabalhado. A deformação que é feita numa peça por meio do dobramento chama-se deformação plástica. Antes desta deformação, porém, ocorre uma outra, chamada deformação elástica, que não é permanente.

Todo processo de deformação acontece do seguinte modo: tomemos como exemplo uma mola. Quando tracionamos com pouco esforço e a soltamos, ela volta à sua posição inicial. Este tipo de deformação chama-se **deformação elástica**. Se, entretanto, tracionarmos com muito esforço, o material ultrapassa sua resistência à deformação e não retorna mais à sua forma inicial. Desse modo, o material é deformado permanentemente. Chama-se a essa deformação, **deformação plástica**, embora nessa fase o material também apresente certa recuperação elástica.

Portanto, ao se planejar uma operação de dobramento, é preciso calcular corretamente o ângulo de dobramento que se quer. O ângulo deve ser calculado com abertura menor do que a desejada, para que depois da recuperação elástica a peça fique com a dobra na dimensão prevista.

Dobramento manual

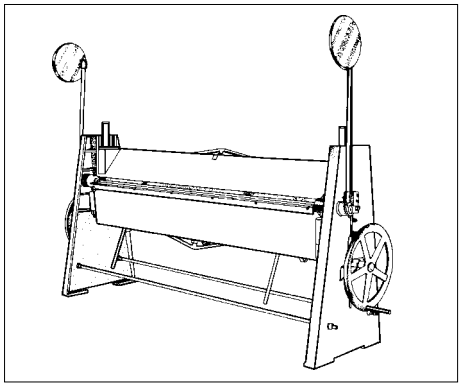
No dobramento manual, o esforço de flexão é exercido **manualmente**, com o auxílio de ferramentas e dispositivos como: martelo, morsa, cantoneira e calços protetores, como mostra a figura a seguir.



Numa operação desse tipo, a escolha da ferramenta de impacto, como o martelo, tem que ser adequada à espessura do material a ser dobrado. Além disso, para evitar deformações, devem ser usados calços protetores para a peça a ser dobrada.

Dobradeiras manuais

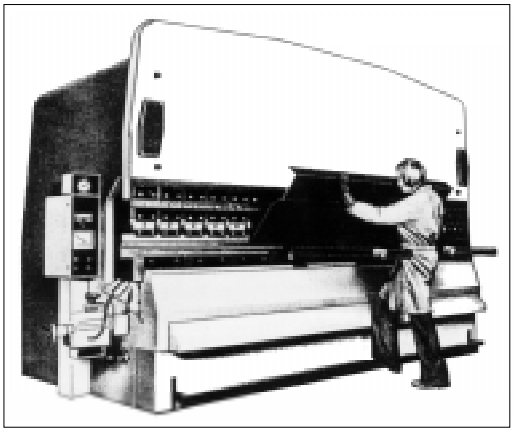
As dobradeiras manuais ou **viradeiras** são máquinas acionadas **manualmente** e de grande uso nas indústrias que produzem gabaritos, perfis, gabinetes de máquinas, armários etc. Estas máquinas se movimentam pela aplicação da força de um ou mais operadores.



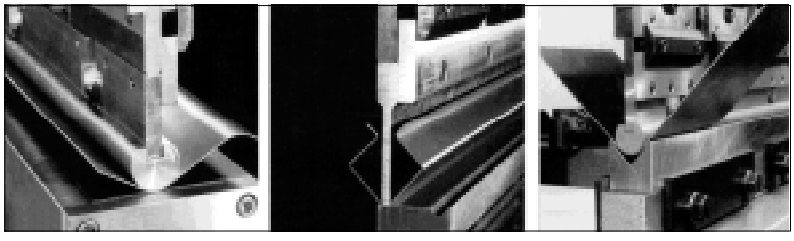
Para operar essas máquinas, o trabalhador precisa ter conhecimentos de cálculo de dobra, de preparação do material e de ajuste da dobradeira. Dependendo do trabalho a ser executado, as dobras são feitas com o auxílio de dispositivos especiais, existentes ou adaptados à viradeira. Essa operação é amplamente empregada na confecção de perfilados, abas, corpos de transformadores etc.

Dobramento à máquina

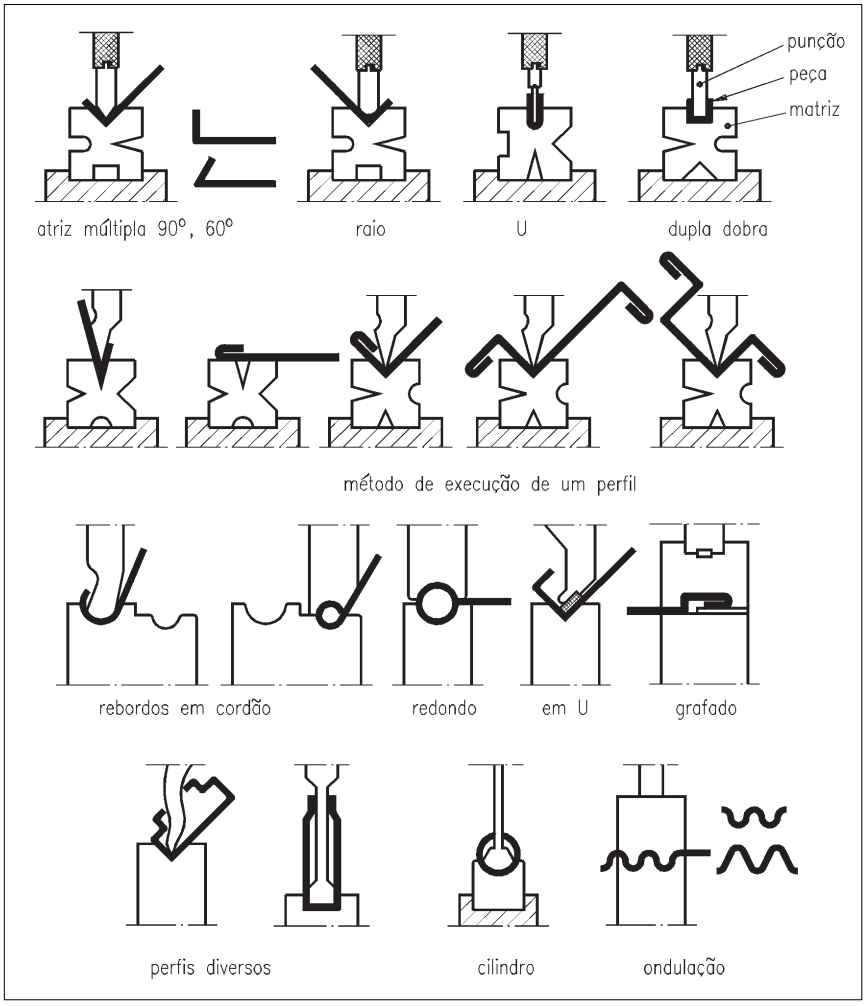
O dobramento à máquina costuma ser executado numa **prensa dobradeira**. É uma máquina que executa operações de dobramento em chapas de diversas dimensões e espessuras, com medidas predeterminadas. É, geralmente, uma máquina de grandes dimensões, formada por uma barra de pressão à qual é acoplado o estampo com movimento vertical, e uma matriz localizada na mesa inferior da máquina. Grande número de prensas dobradeiras apresenta a mesa inferior fixa e a barra de pressão móvel. Entretanto, podem-se encontrar modelos que têm a barra fixa e a mesa inferior móvel. Muitas dobradeiras chegam a atingir mais de 6 m de comprimento.



O trabalho é feito por meio da seleção de punções e matrizes, de acordo com as medidas e o formato que se deseja dar à chapa. A dobradeira é empregada na produção de perfilados, abas, corpos de transformadores etc.



A prensa dobradeira pode se movimentar por energia mecânica ou hidráulica. Alguns modelos mais recentes têm comandos orientados por computador, que permitem fazer uma série de dobras diferentes na mesma peça, reduzindo o manuseio e o tempo de fabricação. A figura a seguir mostra diferentes tipos de dobra, feitos a partir da seleção de punções e matrizes correspondentes.



Dobramento a quente

O dobramento a quente é sempre feito manualmente, quando a espessura do material a ser dobrado é grande, acima de 5 mm. Quando se dobra à maquina, o processo é *sempre* a frio, independentemente da espessura do material.

Quando se dobra o material com aplicação do calor, acontece o mesmo fenômeno que ocorre quando se dobra a frio. As estruturas das fibras do lado externo da dobra são esticadas e as fibras do lado interno da dobra, comprimidas. As fontes de calor usadas para o aquecimento da peça são: a forja, o forno elétrico a gás ou a óleo e o maçarico.

A temperatura de aquecimento varia, dependendo do material com que se vai trabalhar. No caso de aço, cobre e latão, existe uma tabela de cores para comparação com o material a ser trabalhado. Cada cor corresponde a uma temperatura. Conforme a temperatura, a cor do metal muda, e assim é possível saber quando a chapa está pronta para a operação. Desse modo pode-se ter mais controle sobre o trabalho que se faz.

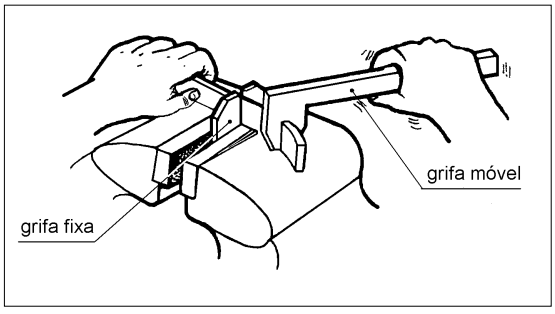
Para um bom resultado, é preciso observar tudo aquilo que o trabalho envolve, como: o metal de que a chapa é feita, a espessura da chapa, a quantidade de calor necessária, a pressão que vai ser dada na dobra, os dispositivos adequados etc.

Curvamento

A operação de curvamento é feita **manualmente**, por meio de dispositivos e ferramentas, ou **à máquina**, com auxílio da **calandra**, que é uma máquina de curvar chapas, perfis e tubos.

Curvamento manual

O esforço de flexão para a operação de curvamento é feito à mão, com o auxílio de martelo, grifa e gabaritos, sempre de acordo com o raio de curvatura desejado. Esta operação permite fazer cilindros de pequenas dimensões, suportes, flanges para tubulações etc. Na figura seguinte vemos o curvamento de uma barra com auxílio da **grifa fixa**, presa à morsa, onde são aplicados esforços gradativos para se conseguir a curvatura planejada, com ajuda da grifa móvel.



Curvamento a quente

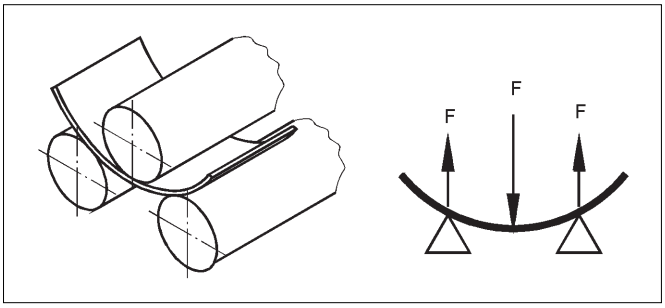
O trabalho de curvar barras torna-se mais fácil quando o material recebe aquecimento. Peças como anéis, flanges, elos etc. são executados com êxito **a quente** quando observados cuidadosamente os componentes do processo como: calor aplicado no local correto por meio de **maçarico** ou **forja** adequados à espessura da peça, pressão exercida durante o curvamento e dispositivos adequados a cada tipo de trabalho.

Curvamento à máquina

A máquina usada para curvar chapas chama-se **calandra**. Na **calandra** são curvados chapas, perfis e tubos. As peças podem ser curvadas de acordo com o raio desejado. Nesse tipo de máquina é que se fabricam corpos ou costados de tanques, caldeiras, trocadores de calor, colunas de destilação etc.

Elementos da calandra

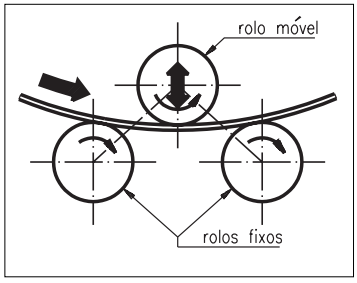
A calandra é constituída por um conjunto de **rolos** ou **cilindros**, com movimento giratório e pressão regulável. O material a ser curvado é colocado entre **rolos** que giram e pressionam até que o curvamento esteja de acordo com as dimensões desejadas.



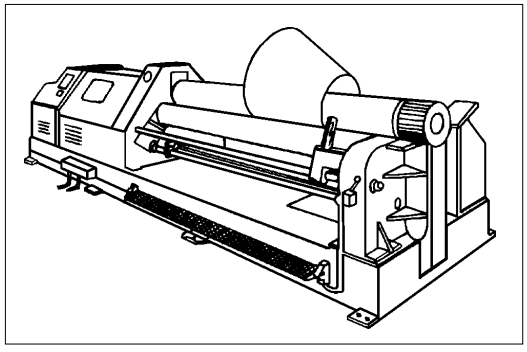
AULA
75

Rolos fixos e móveis

A calandra permite curvar peças de acordo com o raio desejado. O curvamento é feito por meio dos rolos, que podem ser **fixos** ou **móveis**. **Rolo fixo** é aquele que tem apenas o movimento giratório. **Rolo móvel** é aquele que, além de girar, também pode ser movimentado para cima e para baixo. Desse modo, o raio de curvatura varia de acordo com a distância entre os rolos.



Nas calandras podem ser curvadas chapas de acordo com o raio desejado. Quando se quer produzir um cone, cujos raios de curvatura são diferentes, recorre-se a um tipo especial de calandra. Ela possui rolos inferiores que se deslocam inclinados entre si, no sentido vertical.

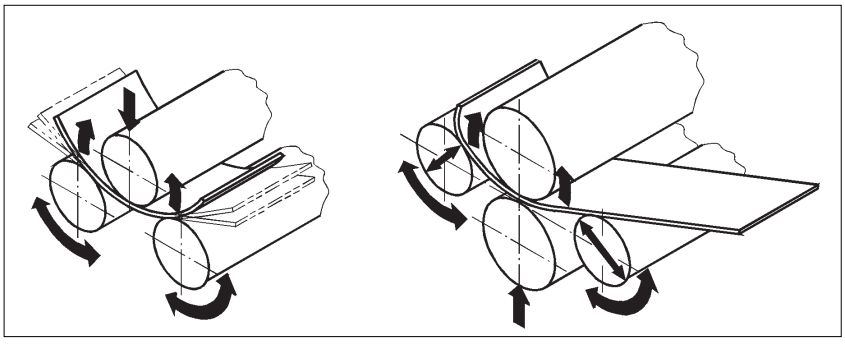


Tipos de calandra

Existem **calandras para chapas** e **calandras para tubos e perfis**.

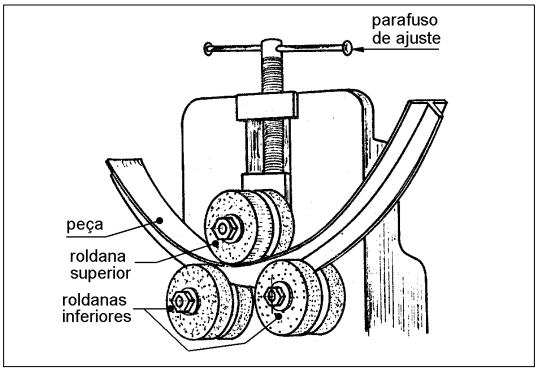
Calandras para chapas

Têm geralmente 3 ou 4 rolos. As de **3 rolos** são as mais usadas na indústria e nelas os rolos estão dispostos em formação de pirâmide, como mostra a ilustração seguinte. As calandras para chapas com **4 rolos** apresentam a vantagem de facilitar o trabalho de pré-curvamento. Nas calandras de 3 rolos, o pré-curvamento é feito manualmente.

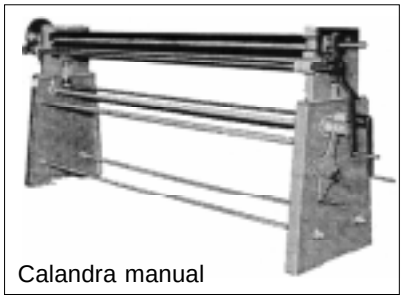


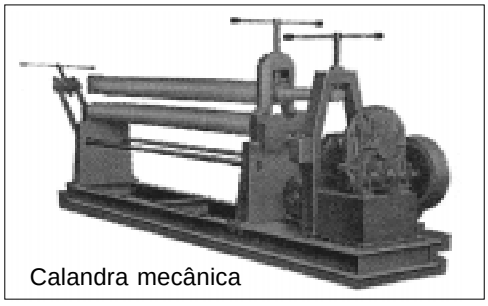
Calandras para tubos e perfis

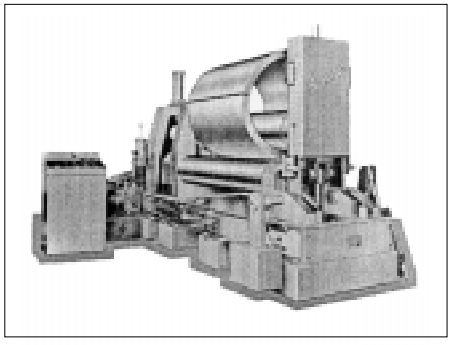
Apresentam conjuntos de rolos ou cilindros sobrepostos, feitos de aço temperado, com aproximadamente 200 mm de diâmetro. Podem curvar qualquer tipo de perfil: barras, quadrados, cantoneiras, em T etc.



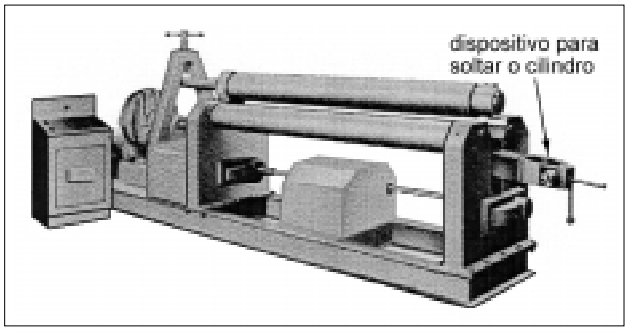
Quanto ao acionamento, as calandras podem ser: **manuais**, com um volante ou manivela para fazer girar os rolos, ou **mecânicas**, com motor elétrico e redutor para movimentar os rolos. As calandras mecânicas podem apresentar, além do motor elétrico, um sistema hidráulico que imprime maior ou menor pressão aos rolos. Este último tipo é usado para trabalhos de grande porte.


Calandra manual


Calandra mecânica


Calandra mecânica
com sistema hidráulico

Todos os tipos apresentam, em uma das extremidades, um dispositivo que permite soltar o cilindro superior para retirar a peça calandrada.



Vamos ver agora se você aprendeu. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Nas operações de curvamento e dobramento ocorrem:

a) ( ) deformação elástica e deformação plástica;
b) ( ) deformação elástica e deformação por ruptura;
c) ( ) deformação plástica e deformação permanente;
d) ( ) deformação elástica e recuperação plástica.

Exercício 2

As máquinas acionadas manualmente para dobrar são:

a) ( ) prensas dobradeiras;
b) ( ) morsas viradeiras;
c) ( ) viradeiras;
d) ( ) dobradeiras.

Exercício 3

As máquinas para curvar chamam-se:

a) ( ) curvadeiras;
b) ( ) morsas;
c) ( ) calandras;
d) ( ) tornos.

Exercício 4

A calandra é formada por:

a) ( ) conjunto de rolos ou cilindros;
b) ( ) partes móveis dispostas em formação de pirâmide;
c) ( ) carcaça e grifa;
d) ( ) rolos cônicos e rolos paralelos.

Exercício 5

Existem tipos especiais de calandra para:

a) ( ) aço temperado e cobre;
b) ( ) chapas e tubos;
c) ( ) materiais com recuperação elástica;
d) ( ) deformações a quente e a frio.

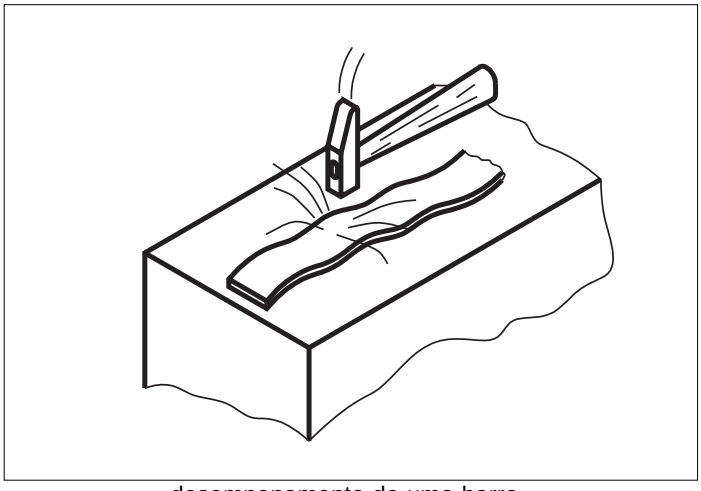
AULA

76

Desempenamento

Na área mecânica e metalúrgica, desempenar é a operação de endireitar chapas, tubos, arames, barras e perfis metálicos, de acordo com as necessidades relativas ao projeto de construção.

O modo de desempenar depende do material e do produto. Se, por exemplo, você precisa trabalhar com uma barra plana e só dispõe de uma barra empenada, basta desempená-la com uma prensa, se não for espessa, ou manualmente, com uma ferramenta de impacto.



desempenamento de uma barra

Nesta aula, você terá noções básicas dos tipos e processos de desempenamento e em que situações ele é feito.

Aspectos gerais

Nossa aula

De modo geral, o desempenamento é feito nos seguintes casos:

- os produtos semimanufaturados (chapas, barras, perfis, tubos, arames) apresentam deformações causadas pelos processos de fabricação, pelo transporte ou pela má armazenagem;

- as peças apresentam deformações causadas pelas próprias operações de fabricação.

AULA
76

Somente se desempenam peças cujos materiais metálicos forem plasticamente deformáveis sob a ação de forças. É o caso dos aços-carbono, aços especiais, alumínio, cobre, zinco, chumbo e a grande maioria das ligas desses metais. Por outro lado, ferros fundidos cinzentos geralmente não são desempenáveis, pois quebram-se facilmente quando submetidos a esforços de endireitamento.

Tipos de desempenamento

O desempenamento depende da espessura e da natureza do material, pode ser feito a frio ou a quente, em ambos os casos, por processo manual ou mecânico.

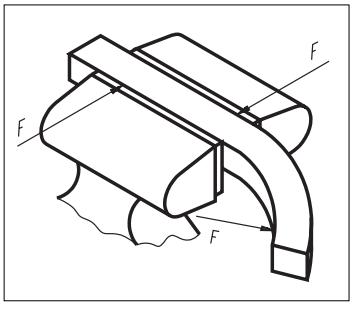
No processo manual são usadas as seguintes ferramentas: martelos, macetes, marretas, grifas etc. Também são utilizados dispositivos de fixação (morsas, grampos etc.) e dispositivos de apoio (cepo, encontrador etc.).

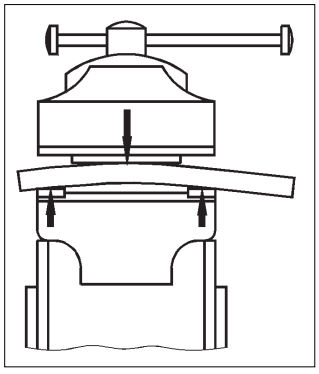
No processo mecânico são usadas máquinas como prensas, calandras, marteletes pneumáticos etc., cujos dispositivos exercem a força necessária ao desempenamento dos materiais.

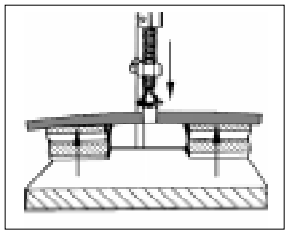
Dependendo do modo como é efetuado, o desempenamento é classificado em quatro grupos:

- desempenamento por flexão;
- desempenamento por torção;
- desempenamento por estiramento;
- desempenamento por calor (por chama).

O desempenamento efetuado por **flexão** corresponde ao procedimento inverso do dobramento. As forças externas flexoras, atuando no material empenado, fazem com que ele adquira a forma desejada. Por flexão é possível desempenar chapas, barras, perfis e tubos.







No desempenamento por **torção,** o material sofre um giro causado pela aplicação de forças de torção. Ao aplicar forças de torção, o operador deverá torcer o material para endireitá-lo. Atingindo o ponto de endireitamento, este deverá ser ligeiramente ultrapassado. Por quê? Porque o material também possui elasticidade e, sofrendo torção, tende a recuperar-se elasticamente. A própria recuperação elástica traz o material à posição desejada.

Por torção, desempenam-se chapas, barras, perfis.

O desempenamento por **estiramento** ocorre pela ação de forças de tração que alongam o material. Alongando-se, a secção transversal do material diminui.

Por estiramento, é possível desempenar arames, chapas e perfis.

No desempenamento por **chama** utiliza-se, normalmente, a chama de um maçarico oxiacetilênico como fonte de calor. O problema que essa técnica de desempenamento apresenta é saber exatamente qual local do material deverá ser aquecido, pois as dilatações e contrações ocorrerão inevitavelmente.

Sabemos que todo material metálico submetido a um aquecimento experimenta uma dilatação (aumento de volume), assim como experimenta uma contração (diminuição de volume) ao ser resfriado.

Por exemplo, se uma barra de aço é aquecida lenta e uniformemente ao longo do seu comprimento, ela sofre uma dilatação proporcional à elevação da temperatura. Seu comprimento e sua secção aumentam com o conseqüente aumento de volume.

O desempenamento por chama deve levar em consideração os fenômenos da dilatação e contração para ser bem-sucedido, e a prática é fundamental para que os resultados venham a ser os desejados. Lembremos que a experiência é o melhor guia na determinação do tamanho da área a ser aquecida.

Em materiais metálicos soldados, o calor utilizado para o desempenamento não deve ser aplicado no cordão de solda, mas no lado oposto.

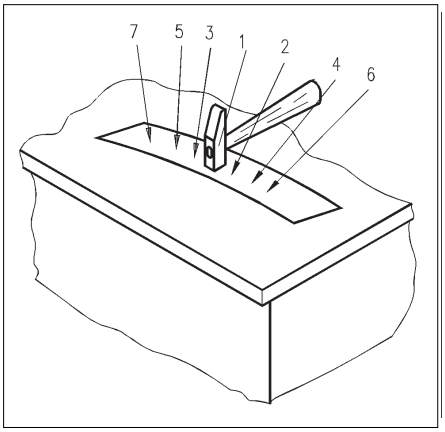
Como desempenar

Vejamos, primeiro, como desempenar, manualmente, uma tira abaulada.

Inicialmente, você deve verificar o grau de empenamento da chapa, usando uma régua de controle. A verificação deve ser feita contra a luz.

Posicione, depois, a tira no cepo, previamente limpo.

A martelagem deve ser efetuada do centro da tira para as extremidades, no sentido do comprimento com golpes de mesma intensidade, eqüidistantes entre si e alternadamente: à direita e à esquerda.

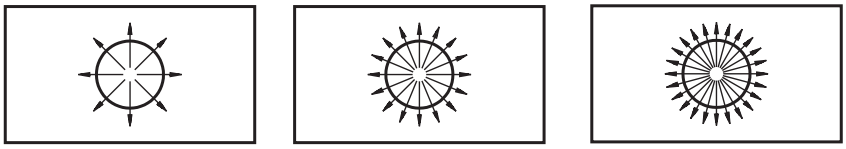


Após os golpes julgados necessários, você deve verificar a planeza da chapa. Se for necessário, repita a martelagem.

De acordo com o tipo de empenamento e do grau de planeza desejado, você vai usar martelagem radial, paralela ou concêntrica.

Martelagem radial

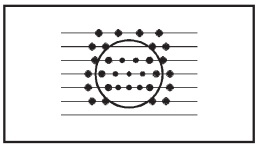
Parte-se do centro da saliência para as bordas da chapa. A cada passada, os golpes ficam mais próximos entre si.



Martelagem paralela

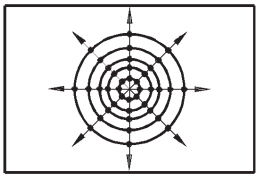
É feita em linhas paralelas, partindo-se da periferia para o centro da saliência.

A intensidade das pancadas deve ser maior na periferia da saliência e diminuir à medida que se aproxima do centro.



Martelagem concêntrica

É efetuada batendo-se o martelo do centro para a periferia da saliência abaulada. As pancadas descrevem trajetórias circulares crescentes.



Este método é recomendado para o desempenamento de chapas com uma única saliência abaulada.

Desempenamento por chama

Vamos ver, agora, um exemplo de desempenamento de material metálico por chama. Mas, antes dessa operação, vejamos quando se emprega esse processo.

O sistema de **desempenamento por chama** é um método que se emprega para corrigir deformações que se apresentam principalmente em construções soldadas.

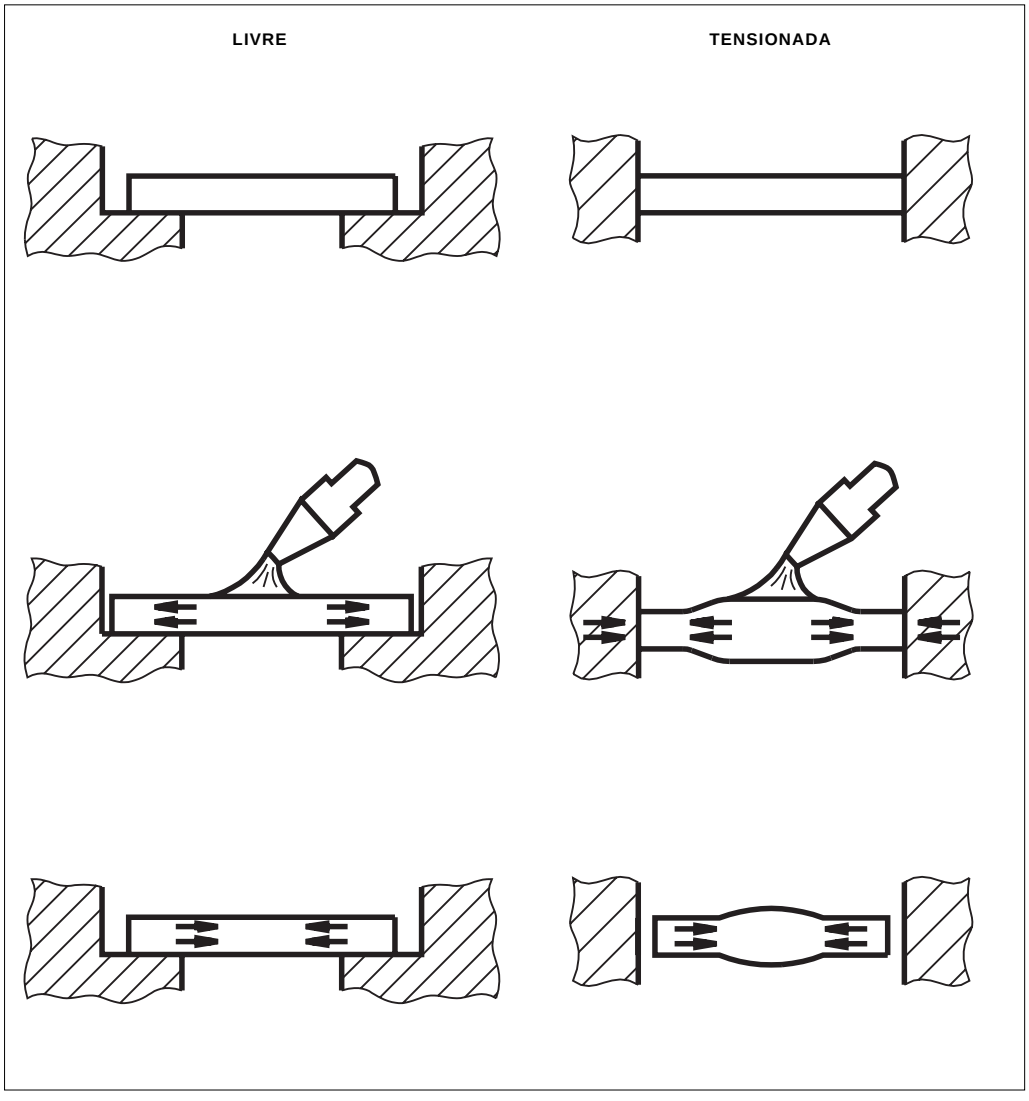
Todas as soldas, ao se resfriarem, produzem contrações na própria união e no material adjacente. Estas contrações causam deformações e ondulações na chapa, mesmo a grandes distâncias do cordão de solda.

As deformações podem, também, ser resultado de tensões térmicas, como ao se laminar ou no corte térmico. Porém, na maioria dos casos, a necessidade do desempenamento depende de como a soldagem foi efetuada.

As distorções aparecem, especialmente, de forma mais clara, em superfícies pintadas ou esmaltadas.

O desempenamento por chama é um método especialmente cômodo e não necessita, normalmente, de outros equipamentos além de um maçarico de aquecimento.

O método baseia-se no princípio do emprego de uma chama, a mais quente possível, de oxigênio e acetileno, para se aquecer no menor tempo uma parte limitada da chapa a uma temperatura de, aproximadamente, 600°C, na qual se aumenta consideravelmente a plasticidade do aço. Pelo fato de o material circundante permanecer frio, as partes aquecidas ficam tensionadas, dilatando-se. Essa dilatação é limitada pelas partes frias, não atingidas pela chama. Quando a barra resfria, o material se contrai. No desempenamento por chama provoca-se o resfriamento rápido para verificar o resultado obtido. O exemplo abaixo facilita a compreensão do mecanismo de desempenamento por chama.

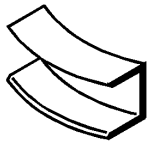
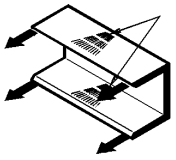
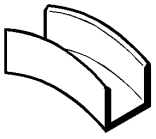
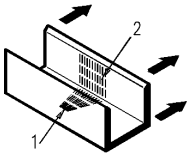
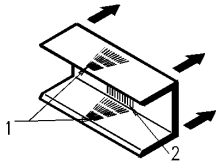


AULA
76

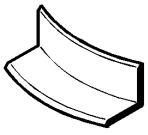
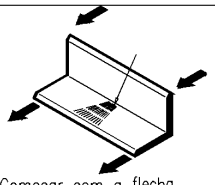
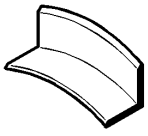
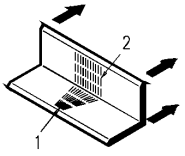
Procedimentos para o desempenamento por chama

Veja, a seguir, os procedimentos para o desempenamento de estruturas diversas, conforme o problema apresentado em cada caso.

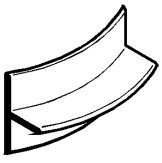
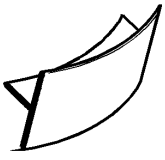
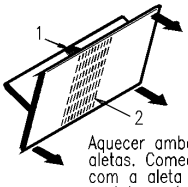
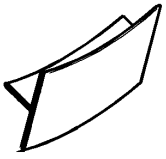
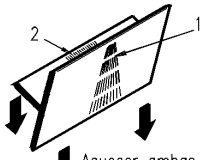
Viga "U"

problema de empenamento apresentado	procedimento para o desempenamento
	 Aquecer ambas aletas ao mesmo tempo e começar nos locais marcados com a flecha.
	 Aquecer primeiro a alma começando em 1 , e logo em seguida continuar em 2.
	 Aquecer ambas aletas , começando em 1 e continuar a alma 2.

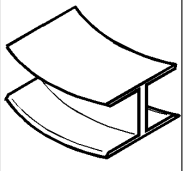
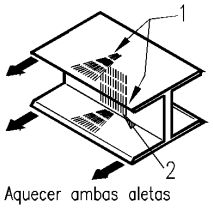
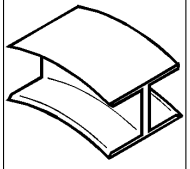
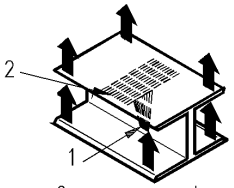
Viga "L"

problema de empenamento apresentado	procedimento para o desempenamento
	 Começar com a flecha aquecendo a aleta horizontal.
	 Aquecer ambas aletas. Começar com 1 e continuar em 2.

Viga "T"

problema de empenamento apresentado	procedimento para o desempenamento
	Aquecer somente a aleta horizontal e começar conforme indicado.
	 Aquecer ambas aletas. Começar com a aleta horizontal em 1 e continuar em 2.
	 Aquecer ambas aletas. Começar com a aleta vertical em 1 e continuar com a horizontal em 2.

Viga "I"

problema de empenamento apresentado	procedimento para o desempenamento
	 Aquecer ambas aletas simultaneamente , começando com os locais marcados em (1), e logo em seguida com a alma (2).
	 Começar aquecendo a alma (1) e continuar com as aletas (2)

Veja se aprendeu. Faça os exercícios e confira suas respostas com as do gabarito.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

A operação do desempenamento é adequada para endireitar:

a) ( ) chapas, tubos, arames e perfis metálicos;
b) ( ) barras e perfis cerâmicos;
c) ( ) tubos de concreto;
d) ( ) barras e chapas de grande espessura e comprimento.

Exercício 2

Os processos de desempenamento podem ser:

a) ( ) automático e semi-automático;
b) ( ) por imersão ou mergulho;
c) ( ) por dobragem e forjamento;
d) ( ) a frio e por chama.

Exercício 3

No desempenamento manual, usa-se, geralmente:

a) ( ) esmerilhamento;
b) ( ) martelagem;
c) ( ) fresagem;
d) ( ) corte.

Exercício 4

Para corrigir deformações em construções soldadas, é adequado o seguinte tipo de desempenamento:

a) ( ) por chama;
b) ( ) por indução;
c) ( ) manual;
d) ( ) martelagem.

AULA

77

Métodos avançados de usinagem: feixe de elétrons e ultra-som

O homem primitivo só contava com as próprias mãos para cortar os materiais. Depois, descobriu que podia fazer ferramentas de ossos, gravetos ou pedras. Com essas ferramentas rústicas, produzia suas roupas, utensílios de cozinha, abrigos e armas.

Com a descoberta dos metais, o bronze e o ferro passaram a ser usados na confecção de ferramentas manuais e, por um período que durou aproximadamente um milhão de anos, os instrumentos feitos com esses materiais possibilitaram ao homem exercer um gradativo domínio sobre os fenômenos da natureza.

Até o século XVII, as ferramentas continuaram a ser operadas à mão, ou por dispositivos mecânicos rudimentares. Tais métodos tornaram possível a construção de navios, edificações, mobílias e utensílios diversos para uso cotidiano.

A compreensão de que a água, o vapor e, mais tarde, a eletricidade podiam ser usados como fontes de energia, possibilitou a produção de máquinas-ferramenta operadas por essas forças, levando ao desenvolvimento da indústria das máquinas-ferramenta nos séculos XVIII e XIX.

No século XX, como você já sabe, o desenvolvimento tecnológico provocou uma revolução nos meios e modos de produção estabelecidos, possibilitando o acesso a novas fontes de energia que, por sua vez, tornaram viáveis novas aplicações industriais.

Nesta virada de século, os desafios impostos pelas novas necessidades de produção continuam a ser vencidos a passos largos. Processos tecnológicos alternativos vêm sendo desenvolvidos, na busca permanente de maior qualidade, maior produtividade e menor custo. Alguns desses processos você já viu em aulas anteriores deste módulo, como o corte a laser , o corte plasma e o corte por jato de água.

Esta aula e a próxima serão dedicadas ao estudo de outros quatro métodos avançados de usinagem, de uso ainda pouco difundido entre nós. Nesta aula serão abordadas a usinagem por feixe de elétrons e a usinagem por ultra-som. Na aula seguinte, serão apresentados os métodos de usinagem química e usinagem eletroquímica.

Ao terminar o estudo dessas aulas, você terá uma visão geral dos princípios de funcionamento desses novos métodos e dos procedimentos operacionais dos equipamentos desenvolvidos para utilizar sua potencialidade.

Métodos tradicionais X métodos avançados

Nos processos tradicionais, o arranque de material se dá por cisalhamento ou abrasão. Esses métodos apresentam limitações para usinagem de materiais duros e de peças com formas complexas.

Por outro lado, os novos processos de usinagem baseiam-se muito mais em princípios eletrofísicos do que nas propriedades mecânicas dos materiais.

Segundo esses novos métodos, a usinabilidade dos materiais depende, predominantemente, de características como:

- ponto de fusão;
- condutibilidade térmica;
- resistividade elétrica;
- peso atômico.

A miniaturização de peças e componentes e a exatidão requerida para atender às necessidades atuais são outros fatores que funcionam como obstáculo aos métodos convencionais de usinagem, mas não constituem problema para os métodos avançados, que possibilitam a remoção de material molécula por molécula e até mesmo átomo a átomo.

Alguns desses novos métodos baseiam-se em teorias já conhecidas há algum tempo. Porém, sua utilização só se tornou possível graças ao desenvolvimento de suportes tecnológicos adequados. É o caso, por exemplo, da usinagem por feixe de elétrons, que só se tornou viável a partir do momento em que se conseguiu maior domínio sobre a produção de câmaras de vácuo, como você verá a seguir.

Usinagem por feixe de elétrons

Este método baseia-se no princípio de que o bombardeamento de elétrons gera energia, ou seja, quando os elétrons são acelerados e concentrados em um feixe, uma intensa energia cinética é produzida.

Quando o feixe assim concentrado choca-se contra uma superfície bem definida, o impacto faz com que a energia cinética transforme-se em energia térmica, alcançando altíssimas temperaturas, capazes de fundir praticamente todos os tipos de materiais conhecidos.

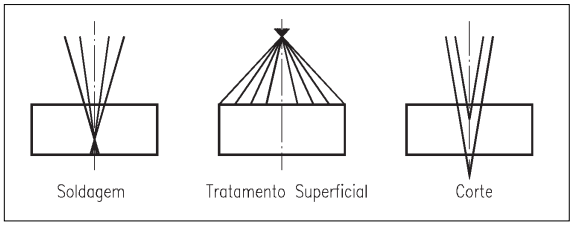
O mecanismo pelo qual os feixes concentrados penetram na peça ainda não é completamente conhecido. Entretanto, sabe-se que a energia altamente concentrada do feixe de elétrons vaporiza instantaneamente o material no ponto de impacto. O material derretido ao redor do ponto de impacto é rapidamente ejetado pela pressão do vapor sendo, dessa forma, removido do material.

Este processo foi inicialmente utilizado por volta dos anos 50, na área de soldagem, quando as primeiras construções nucleares passaram a exigir a soldagem isenta de oxidação, de materiais reativos como o titânio e o zircônio.

O desenvolvimento das câmaras de vácuo trouxe a solução para o problema anterior e ainda permitiu um maior aproveitamento do potencial de energia dos elétrons acelerados. Isso porque, numa câmara de vácuo é possível concentrar a energia que seria dispersada pelo atrito dos elétrons com as moléculas de ar, de modo que se produza uma grande convergência do feixe, com redução das zonas termicamente afetadas. O vácuo, além de evitar a dispersão do feixe, possibilita obtenção de elevadas densidades de energia e maior capacidade de penetração no material a ser usinado.

A convergência do feixe pode ser ajustada por meio de lentes magnéticas. Dependendo do modo como o feixe é aplicado sobre a peça, pode ser usado para outras finalidades, além da soldagem, como o tratamento térmico, o corte de materiais e a microusinagem.

A figura a seguir mostra como a localização do ponto de foco possibilita a obtenção de diferentes aplicações do feixe.



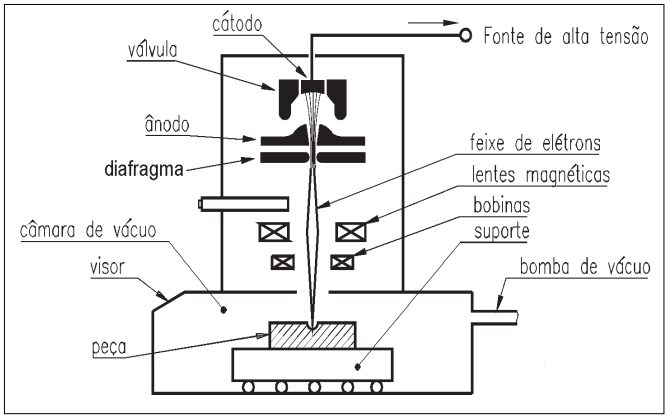
As aplicações que mais nos interessam, nesta aula, são o corte, a furação e a microusinagem.

Equipamento básico para produção do feixe de elétrons

O pioneiro na utilização de feixes de elétrons foi Steigerwald, que projetou uma máquina protótipo em 1947. As modernas máquinas de feixe de elétrons funcionam pelos mesmos princípios, até hoje.

Analise a figura a seguir. Ela mostra uma representação esquemática de uma máquina industrial para produção de feixes de elétrons. Os componentes básicos, presentes em todas as máquinas, são: canhão emissor de elétrons, lentes de focalização e sistema de ajuste de foco. Estes componentes estão alojados numa **câmara de vácuo**, que atinge até 10^{-4} **Torr**.

Torr: unidade de medida de pressão. Equivale a 1/760 da atmosfera normal. O nome é uma homenagem ao italiano Torricelli, que desenvolveu os estudos pioneiros nessa área.



O **canhão emissor de elétrons**, que sempre trabalha em alto vácuo (10^{-4} Torr), é o dispositivo que gera os elétrons. É composto, basicamente, de um mecanismo de emissão e aceleração dos elétrons, constituído pelo **cátodo** e pelo **ânodo**.

O cátodo, que é montado dentro de uma válvula conhecida por "Wehnelt", é feito de um filamento de tungstênio, e quando aquecido até 2.500°C ou 3.000°C, liberta elétrons.

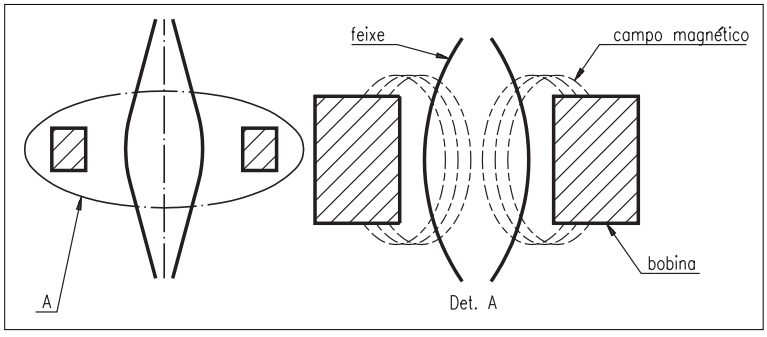
Wehnelt: palavra alemã que quer dizer válvula. Cátodo revestido de óxido de metais alcalinos (cálcio, estrôncio e bário), usado para melhorar a emissão de elétrons a temperaturas moderadas.

A alimentação do canhão é feita por um transformador especial de alta-tensão, que produz uma grande diferença de potencial (ddp) entre o cátodo e o ânodo, da ordem de 150kV, suficiente para acelerar os elétrons em direção à peça a ser usinada. Os elétrons assim acelerados chegam a atingir de 0,2 a 0,7 da velocidade da luz.

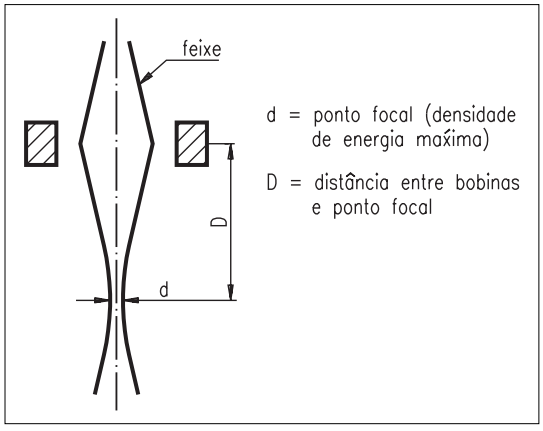
Os elétrons acelerados são direcionados para o ânodo e o atravessam saindo por um orifício na extremidade. Na saída do ânodo, os elétrons acelerados passam pelo diafragma que serve para fazer convergir o feixe . Mesmo no vácuo, o feixe tende a dispersar-se. Para evitar essa dispersão, ele é conduzido através de um conjunto de lentes magnéticas.

O **sistema de controle para ajuste de foco**, que permite manter a direção do feixe para a peça usinada, é constituído por um conjunto de bobinas de **deflexão**, por dentro das quais passa o feixe de elétrons. Por essas bobinas passa uma corrente elétrica, que gera um campo magnético. Este campo magnético interfere no feixe, para permitir o ajuste de foco, nas posições **x** e **y**.

Deflexão: mudança de direção do movimento de um raio para um lado (esquerdo ou direito).



A uma distância determinada das bobinas, obtém-se o menor diâmetro de feixe (**ponto focal**). Nesse ponto tem-se a **densidade de energia máxima**, pois toda a energia do feixe está concentrada na menor área possível. Passando o ponto focal, o feixe tende a divergir novamente.

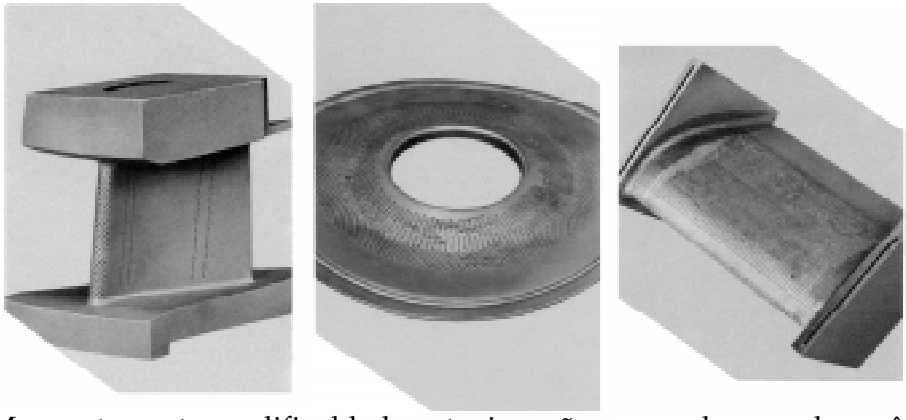


Remoção de material por feixe de elétrons

As taxas de remoção de material na usinagem por feixe de elétrons são usualmente avaliadas de acordo com o número de pulsos requeridos para evaporar uma certa quantidade de material.

O uso de contadores de elétrons para registrar o número de pulsos permite pronto ajuste do tempo de usinagem, para produzir a profundidade de corte requerida.

Por enquanto, algumas aplicações da usinagem por feixe de elétrons ainda se encontram em fase experimental, não representando uma alternativa competitiva do ponto de vista técnico ou econômico, quando comparadas a outros processos. Mesmo assim, a industria aeroespacial, a aeronáutica e a eletrônica são exemplos de áreas que já vêm utilizando este processo com resultados positivos na produção de múltiplos microfuros, litografia em semicondutores e microusinagem de peças complexas.



Mas certamente as dificuldades atuais serão superadas em decorrência do permanente esforço de pesquisa e desenvolvimento voltado para esta área. Portanto, fique atento: não perca a oportunidade de conhecer melhor este assunto e se aprofundar nele, acompanhando os eventos que divulgam tecnologias de ponta. Enquanto isso, aproveite para conhecer os princípios básicos de outro processo avançado de usinagem.

Hertz (Hz): unidade de medida de freqüência. Um Hz corresponde a um ciclo por segundo. O **kHz** (quilohertz) é um múltiplo do Hz e equivale a 1000 ciclos por segundo.

Usinagem por ultra-som

A usinagem por ultra-som é um processo que permite executar penetrações de formas variadas em materiais duros, frágeis e quebradiços como o vidro, a cerâmica e o diamante, que dificilmente seriam obtidas pelos processos convencionais.

Na usinagem por ultra-som, uma ferramenta é posta para vibrar sobre uma peça mergulhada em um meio líquido com pó abrasivo em suspensão, numa freqüência que pode variar de 20 kHz a 100 kHz.

Fique por dentro

As freqüências de sons audíveis pelo ouvido humano estão na faixa de 20Hz a 20kHz.

Os sons com freqüência abaixo de 20 Hz são chamados **infra-sons**.

Os sons com freqüência acima de 20kHz são chamados **ultra-sons**.

O "martelamento" produzido pelas vibrações é capaz de erodir o material, formando uma cavidade com a forma negativa da ferramenta. Não há contato entre a ferramenta e a peça. A usinagem é feita pelos grãos finos e duros do material abrasivo, que atacam a superfície da peça.

A ferramenta não precisa ser muito dura, podendo ser feita de material fácil de usinar, uma vez que não entra em contato com a peça.

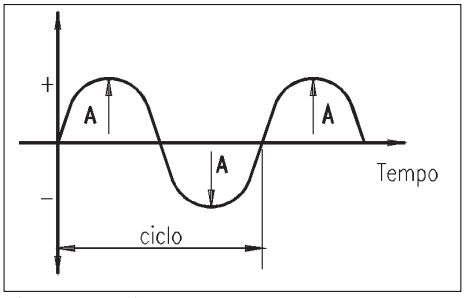
Uma variação desse processo de usinagem é obtida com o uso de uma ferramenta rotativa, que aumenta a capacidade de remoção do material erodido. Quando conjugado com uma mesa do tipo CNC, o equipamento com ferramenta rotativa possibilita a obtenção de figuras complexas, por contorneamento.

O processo de usinagem por ultra-som aproveita a **energia de vibração mecânica**, comunicada aos grãos de abrasivo, que vibram na mesma direção do **sonotrodo**.

O **sonotrodo** é constituído por uma barra metálica, na qual se ativam as vibrações ultra-sonoras, no sentido do seu eixo. Na ponta do sonotrodo é fixada a ferramenta, com a forma inversa da que se deseja dar à peça a ser usinada.

As vibrações mecânicas só se propagam através de um meio material, nunca no vazio. Essas vibrações transmitem-se por excitação das moléculas, que oscilam ao redor de sua posição de repouso.

Um ponto em oscilação, partindo de uma posição extrema e voltando a esta posição, completa um **ciclo** e tem uma **amplitude** (A) determinada. O número de ciclos efetuados por unidade de tempo, ou **freqüência** das oscilações, é uma característica essencial das vibrações. A amplitude é dada pelo máximo afastamento do ponto em relação a sua posição de equilíbrio.



O conjunto de vibrações locais e sua propagação formam uma onda de vibrações. As ondas se propagam através dos materiais a uma velocidade constante. Esta velocidade depende da natureza do material e do tipo de onda considerado. Para as aplicações industriais, as **ondas longitudinais** são as mais utilizadas.

Ondas longitudinais: as partículas vibram na mesma direção da propagação da onda, ou seja, oscilam em torno de sua posição de repouso, em uma direção paralela à direção de propagação.

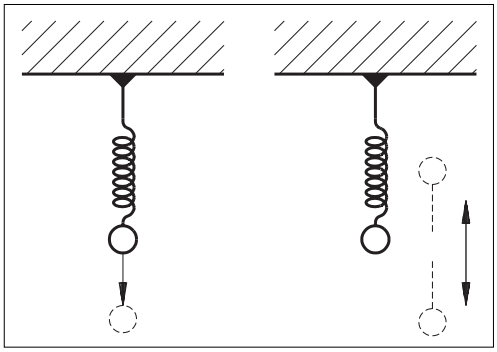
Dica

Para saber mais sobre ondas mecânicas, consulte a Aula **21** do módulo **Ensaios de Materiais**, que trata de ensaio por ultra-som.

Geração dos ultra-sons

A maior parte dos corpos materiais possui certas propriedades elásticas. Isto quer dizer que, se uma parte do corpo é forçada além de sua posição natural, a reação do corpo tende a trazer esta parte de volta para o seu lugar. Produz-se, assim, um movimento de oscilação comparável ao de um pêndulo de mola.

AULA
77



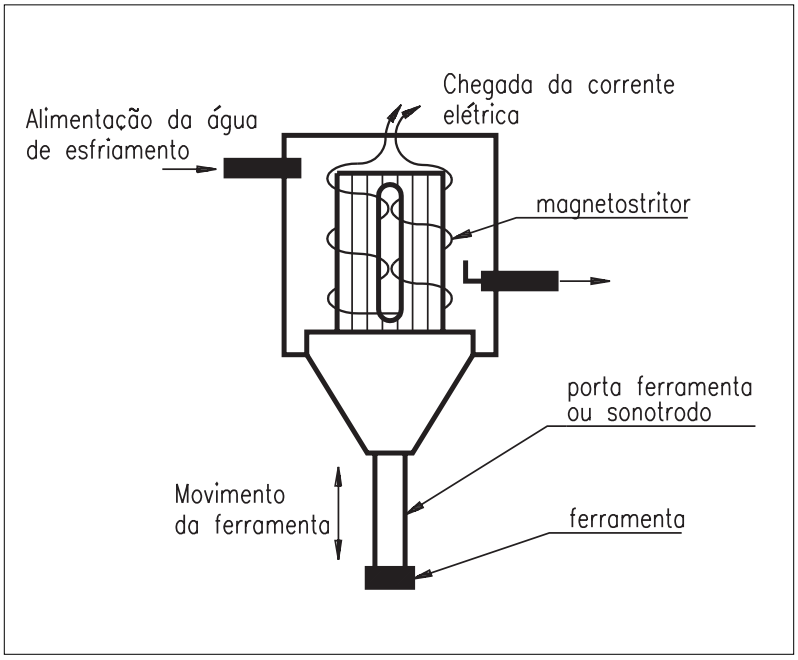
Cada corpo tem uma freqüência própria de vibração. A produção dos ultra-sons utiliza essa capacidade de vibração que os corpos apresentam.

Efeito Joule (Mag): diminuição das dimensões de um sólido quando submetido a um campo magnético. O efeito é muito pequeno e tem algumas aplicações práticas importantes como no sonar, em fonógrafos etc.

Uma das formas possíveis de produzir ultra-som vale-se do **efeito Joule magnético,** também conhecido como **magnetostrição**.

Na máquina de ultra-som para usinagem, a parte mais importante da cabeça ultra-sonora, que funciona segundo o princípio da magnetostrição, é constituída por uma haste em liga de níquel, que é envolvida por uma bobina, percorrida por uma corrente de alta freqüência. O campo magnético gerado pela passagem da corrente através da bobina provoca a vibração da haste metálica, no sentido do eixo.

Esta haste encontra-se em um banho de óleo, que é resfriado por uma serpentina em cobre, na qual circula água.



Ressonância: é a igualdade entre a freqüência de uma fonte e a freqüência própria de vibração de um corpo. Nesse caso, a fonte cede, progressivamente, energia ao corpo, que passa a oscilar numa amplitude cada vez maior.

O efeito assim obtido é muito pequeno, mas pode ser aumentado desde que se consiga produzir a vibração em **ressonância** com as vibrações próprias da barra.

Fique por dentro

Você sabe por que os soldados são proibidos de marchar sobre uma ponte? A resposta tem a ver com o fenômeno da ressonância.

A marcha consiste numa passada ritmada sobre uma estrutura, no caso a ponte, que tem uma freqüência própria de oscilação. Se houver uma coincidência entre a freqüência de vibração das passadas e a freqüência própria de vibração da ponte, ou seja, se as vibrações entrarem em ressonância, a amplitude da vibração pode aumentar exageradamente, causando danos à ponte e pondo em risco a integridade dos soldados!

Características do equipamento

Uma máquina de ultra-som para usinagem é constituída, basicamente, pelos seguintes componentes:

- **um gerador** de corrente de baixa freqüência**;**
- **um conversor eletroacústico** que consiste de um transdutor eletroacústico, isto é, um dispositivo que transforma as oscilações elétricas em ondas ultrasonoras;
- **um amplificador**, feito geralmente de titânio, que tem por função transmitir e aumentar as amplitudes das vibrações do transdutor sobre o qual está fixado;
- **uma ferramenta de usinagem**, facilmente intercambiável, que pode ser oca ou maciça.

O conjunto é montado sobre uma guia de precisão, que se desloca verticalmente, sem jogo nem atrito, e é equilibrado por um sistema de contrapeso.

O equipamento inclui um dispositivo de regulagem de pressão sobre a peça a ser usinada, montado na parte exterior da máquina.

Nas máquinas mais antigas, um relógio comparador de leitura direta permitia controlar permanentemente a profundidade de penetração da ferramenta. Atualmente, esse controle é feito por sistemas eletrônicos.

A peça a ser usinada é fixada sobre o tanque de abrasivo que pode ser adaptado a uma mesa de coordenadas, com movimentos comandados por um micrômetro. Este conjunto é centralizado sob a ferramenta.

Como abrasivo pode-se utilizar o carbeto de boro, de silício, óxido de alumina ou diamante em pó, com tamanhos de grãos variando entre 0,5 mm e 0,002 mm.

O material abrasivo deve ser, no mínimo, tão duro quanto a peça usinada. Mesmo assim, parte do próprio abrasivo acaba sendo erodida durante a usinagem, de modo que a área de usinagem deve ser continuamente alimentada por um suprimento adicional de grãos. Este procedimento contribui para resfriar a suspensão durante a usinagem e facilita a remoção do material erodido.

Considerações sobre a usinagem por ultra-som

A usinagem por ultra-som permite cortes limpos, porque as vibrações ultra-sônicas produzem a fusão do material e, ao mesmo tempo, soldam as pontas das fibras cortadas.

Embora furos, ranhuras e formas irregulares possam ser usinadas por ultra-som em qualquer material, pesquisadores sugerem que o processo seja aplicado, preferencialmente, em materiais duros e quebradiços, envolvendo áreas de superfícies inferiores a 1000 mm^2, onde devem ser produzidas cavidades rasas e cortes.

Em outras palavras, a usinagem por ultra-som, assim como outros métodos de usinagem, também tem suas limitações e representa um vasto campo a ser pesquisado e aperfeiçoado.

Depois de tanta novidade, é conveniente dar uma parada, refletir um pouco sobre o que foi aprendido e fazer os exercícios a seguir, para ajudar na compreensão e fixação dos assuntos estudados.

Pare! Estude! Responda!

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Na usinagem por feixe de elétrons, os elétrons acelerados possuem:

a) ( ) energia térmica que se converte em energia cinética;
b) ( ) energia cinética que se converte em energia térmica;
c) ( ) energia elétrica que se converte em energia térmica;
d) ( ) energia térmica que se converte em energia elétrica.

Exercício 2

O feixe de elétrons é gerado numa câmara de vácuo para evitar:

a) ( ) a perda de energia dos elétrons no choque com as moléculas de ar;
b) ( ) a atração dos elétrons para os orbitais livres dos átomos de oxigênio do ar;
c) ( ) a concentração do feixe de elétrons;
d) ( ) o resfriamento do filamento de tungstênio gerador de elétrons.

Exercício 3

Na usinagem por feixe de elétrons, o ponto focal é o ponto:

a) ( ) onde o feixe de elétrons atinge o material a ser usinado;
b) ( ) de maior densidade de energia;
c) ( ) de maior dispersão de energia;
d) ( ) onde se encontra o maior número de elétrons.

Exercício 4

Na usinagem por ultra-som, o corte do material se dá pela ação:

a) ( ) da ferramenta fixada no sonotrodo;
b) ( ) do transdutor eletroacústico;
c) ( ) do amplificador de ressonância;
d) ( ) do material abrasivo.

Exercício 5

Na usinagem por ultra-som, a ressonância

a) ( ) produz um ruído desagradável;
b) ( ) aumenta a freqüência das oscilações do gerador;
c) ( ) aumenta a amplitude da freqüência de vibração do gerador de ultra-som;
d) ( ) diminui a freqüência das oscilações do gerador.

AULA

78

Usinagem química e usinagem eletroquímica

Nesta aula você vai estudar dois métodos não convencionais de usinagem, que têm em comum entre si apenas o fato de aproveitarem a capacidade que certos materiais apresentam de reagirem quimicamente com outros.

Estes dois processos – a usinagem química e a usinagem eletroquímica – baseiam-se em princípios diferentes e mobilizam diferentes formas de energia.

A usinagem química é um meio de usinar os metais pela sua **dissolução** em uma solução agressiva, ácida ou básica, enquanto a usinagem eletroquímica funciona por **remoção** e **transporte**, átomo por átomo, do metal usinado, mergulhado numa solução eletrolítica. Na usinagem eletroquímica, não é levada em conta a capacidade de a solução eletrolítica dissolver o metal.

A única energia utilizada na usinagem química é libertada pela reação química da solução agressiva sobre o metal, enquanto na usinagem eletroquímica a energia, de natureza elétrica, provém de uma fonte externa.

A usinagem química é mais lenta e dá resultados mais exatos. A usinagem eletroquímica necessita de ferramenta específica, semelhante a uma ferramenta mecânica.

A seguir, você terá uma descrição detalhada de cada um desses métodos de usinagem. Ao final da aula, esperamos que você seja capaz de identificar suas principais características.

Nossa aula

Usinagem química: como tudo começou

Os pioneiros na utilização da via química para conformar metais foram os gravadores. Esses artistas empregavam, e usam até hoje, uma mistura de ácido nítrico e água para desoxidar e gravar metais, conhecida como água-forte. A fim de obter as gravuras, o ácido era preparado para corroer as partes expostas da estampa, enquanto as partes protegidas permaneciam em relevo.

Entretanto, por mais espetaculares que sejam esses trabalhos artísticos, eles não correspondem às exigências atuais de um trabalho de usinagem industrial.

A usinagem requer a obtenção de formas, arestas, dimensões e estados de superfície bem definidos. A Química permite cercar estes parâmetros, com exatidão suficiente para garantir o êxito das aplicações industriais.

Há mais ou menos quinze anos a indústria aeronáutica vem se beneficiando dos procedimentos de usinagem química para diminuir o peso das aeronaves, eliminando quimicamente os materiais desnecessários de determinadas peças, a fim de melhorar a relação resistência/peso, sem prejuízo da sua resistência mecânica.

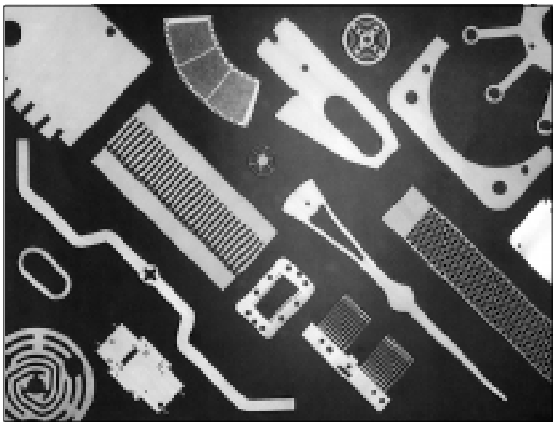
Os conhecimentos adquiridos com a aplicação desta técnica na indústria aeronáutica tornaram possível aplicar a usinagem química a outros metais, além do alumínio, como o ferro, os aços, os aços inoxidáveis , o titânio, o tântalo etc.

A usinagem química recebeu um impulso adicional da exigente indústria eletrônica, para produzir um número crescente de peças precisas, delicadas, de pequenas dimensões, sem nenhum tipo de deformação do metal. Esta técnica é bastante difundida, também, para produção de circuitos eletrônicos impressos em chapas.

Há cerca de cinco anos, as indústrias elétricas e a de mecânica de precisão também aderiram a este método, para confeccionar um número crescente de materiais miniaturizados, que devem ser produzidos em série.

Novas necessidades continuam surgindo, abrindo outros campos de aplicação para a usinagem química. Empresas especializadas nessa área são capazes de atender às exigências de qualquer cliente, com base em um desenho técnico ou croquis com as dimensões e tolerâncias definidas, com custos e prazos bastante competitivos, pois este método dispensa o elevado investimento na confecção de ferramental e permite o trabalho em diversos tipos de materiais, inclusive temperados, mesmo em produções em pequenas escalas.

A figura a seguir mostra alguns exemplos de peças produzidas por usinagem química.



Princípio de funcionamento

A usinagem química consiste em submeter certas partes de peças metálicas à ação de uma solução agressiva. Isso implica que as outras partes devem ser protegidas desta ação, o que é feito colocando-se uma "máscara" sobre a peça, feita de material insensível à substância corrosiva, com as formas e dimensões adequadas.

Etapas do processo

As principais etapas de execução da usinagem química são:

- preparação da superfície do metal
- confecção da máscara e revestimento da peça
- usinagem química propriamente dita e
- limpeza

Preparação da superfície do metal: A superfície do metal, que ficará coberta durante a usinagem, deve ser cuidadosamente limpa e desengordurada. Às vezes, é necessário submetê-la a um leve ataque corrosivo. Isso proporciona uma boa aderência da máscara, durante a usinagem, principalmente quando feita de resinas fotossensíveis.

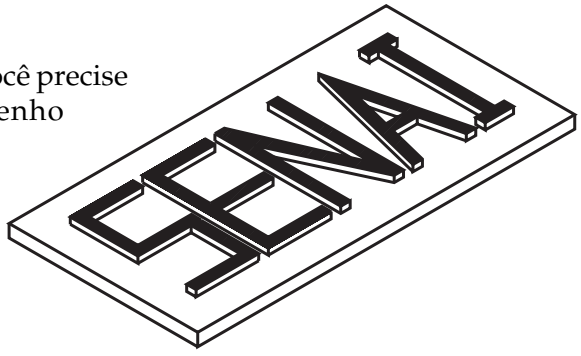
Depois de limpo, o metal deve ser protegido da poeira e manipulado o mínimo possível, de preferência com luvas.

Confecção da máscara e revestimento da peça: Diversos materiais podem ser empregados na confecção de máscaras, tais como: borracha, plásticos, resinas fotossensíveis, vernizes etc. O importante é que esses materiais resistam à solução agressiva utilizada, apresentem boa aderência à peça, o tempo suficiente para obter o resultado desejado e possam ser recortados nas dimensões estabelecidas.

As máscaras devem apresentar uma diferença dimensional, para menor, em relação às cotas finais desejadas, pois a dissolução do metal não se faz rigorosamente na vertical: um pouco da solução sempre penetra sob a máscara. O cálculo das dimensões da máscara é feito de acordo com a espessura a dissolver, o tipo de metal e o ambiente em que é feito o trabalho, para uma velocidade de dissolução determinada.

As pinturas ou borrachas sintéticas são aplicadas sobre um gabarito, o qual, depois de retirado, deixa aparecer o metal não protegido, que será exposto à solução corrosiva.

Suponha, por exemplo, que você precise de uma peça conforme o desenho ao lado.



A usinagem será feita sobre uma chapa retangular de alumínio, com as seguintes dimensões: 4 mm × 50 mm × 110 mm. Depois de limpar o material, conforme as recomendações feitas anteriormente, você deverá aplicar sobre a chapa um gabarito feito de aço laminado, com as partes que você deseja proteger vazadas, como mostra a figura a seguir.

Depois de colocado o gabarito sobre a chapa de alumínio, o próximo passo será a aplicação, sobre a parte vazada, de uma camada de tinta especial resistente ao agente corrosivo usado neste caso: a soda cáustica (NaOH).

Isso feito, basta remover cuidadosamente o gabarito. Apenas a parte não protegida será dissolvida pelo agente corrosivo.

Outra possibilidade, se você puder utilizar um material que possa ser facilmente recortado, como as borrachas, por exemplo, consiste em desenhar o contorno desejado na própria borracha, recortar a silhueta contornada e aplicá-la diretamente sobre a peça.

Nesse processo não se admite nenhuma poeira. O bom resultado depende de uma camada homogênea, de espessura constante, sem rugas nem bolhas. As camadas protetoras devem ser suficientemente espessas e aderentes.

Para trabalhos que exigem grande exatidão, as resinas fotossensíveis são preferidas. Essas resinas devem ser submetidas a radiação ultravioleta e depois devem ser reveladas. A revelação faz aparecer o desenho da peça e deixa a descoberto o metal a dissolver.

A vantagem das resinas fotossensíveis é a possibilidade de redução fotográfica, em grande escala, com exatidão, do desenho da parte a ser protegida. Quando se usa gabarito ou recorte manual, esta exatidão fica dependendo da habilidade do operador.

Para aumentar a aderência e resistência da resina aos ácidos, depois da revelação, a peça deve ser submetida a recozimento controlado e uniforme. Esse processo pode ser feito em estufas, a temperaturas relativamente baixas, ou por ação de radiação infravermelha, desde que se tome o cuidado de exposição correta de todas as partes da peça.

Assim, a peça estará pronta para ser usinada quimicamente. Mas, atenção! Alguns testes preliminares são necessários para determinar se a qualidade das superfícies dissolvidas e das arestas serão satisfatórias com o uso do agente corrosivo escolhido.

Usinagem química: Neste estágio, realiza-se a dissolução das partes das peças que devem desaparecer. A solução agressiva é colocada em contato com o metal, e a dissolução se processa até ser atingido o equilíbrio químico. As soluções cáusticas (para alumínio e aço) e ácidas (para níquel e cobre) são agentes corrosivos típicos.

Para que a solução não perca suas propriedades, ela deve ser constantemente renovada, por meio de dispositivos acoplados ao tanque de usinagem.

Limpeza da peça: Esta operação consiste em livrar a peça das máscaras aplicadas. Terminada a usinagem, deve ser feito um escovamento mecânico da peça, seguido de um banho. Quando a fragilidade da peça não permite um escovamento mecânico, pode-se recorrer a ação dos ultra-sons.

Vantagens e desvantagens da usinagem química

Um inconveniente importante da usinagem química é que o recorte não é rigorosamente perpendicular à superfície e os ângulos obtidos são mal reproduzidos.

A execução da máscara, nas dimensões ideais, é uma tarefa complicada, que só chega a bom termo após várias tentativas e aproximações. Muitas vezes, é preciso ter uma peça terminada para, com base na verificação dos erros dimensionais, corrigir a máscara. Este procedimento deve ser repetido tantas vezes quantas forem necessárias, até se chegar à regulagem definitiva.

Por outro lado, a usinagem química proporciona peças sem rebarbas, sem deformação e estruturalmente íntegras, pois esse método de usinagem não se baseia no impacto ou no arranque de material à força.

Além disso, o tempo de produção de uma peça frágil, de formas complexas, com tolerâncias apertadas, é muito menor por usinagem química que por meio mecânico. Mesmo quando é necessário corrigir o desenho, ou o negativo fotográfico, ainda assim o tempo gasto é menor que o necessário para refazer uma ferramenta mecânica convencional.

Agora que você já tem uma idéia geral sobre o funcionamento da usinagem química, uma boa iniciativa é comparar este método à usinagem eletroquímica, que será apresentada a seguir.

Eletrólise, a base da usinagem eletroquímica

A palavra **eletrólise** vem da língua grega, em que *eletro* quer dizer "corrente elétrica" e *lise* significa "quebra". A eletrólise é uma reação não espontânea de decomposição de uma substância, por meio de corrente elétrica.

A eletrólise ocorre quando uma corrente elétrica é passada entre dois materiais condutores, mergulhados numa solução aquosa.

Uma aplicação da eletrólise é a **deposição eletrolítica**, processo no qual camadas de metal são depositadas sobre uma superfície de um outro metal polarizado positivamente.

O **polimento** de metais é um exemplo de operação que também pode ser obtida por dissolução eletrolítica. Só que, nesse caso, o metal a ser polido é polarizado negativamente numa célula eletrolítica - trata-se de um processo de dissolução anódica. As irregularidades da sua superfície são dissolvidas e, com sua remoção, a superfície fica lisa e polida.

Nos dois processos anteriores, o eletrólito, que é constituído por um ou vários sais, inofensivos e não corrosivos, dissolvidos na água, funciona em baixa velocidade ou parado.

O processo de usinagem eletroquímica é semelhante ao de polimento eletrolítico, embora as finalidades dos processos sejam bem diferentes: no polimento eletrolítico, a finalidade principal é obter um excelente estado de superfície. Na usinagem eletrolítica, o objetivo é a remoção de material, segundo um perfil apresentado por uma ferramenta (eletrodo).

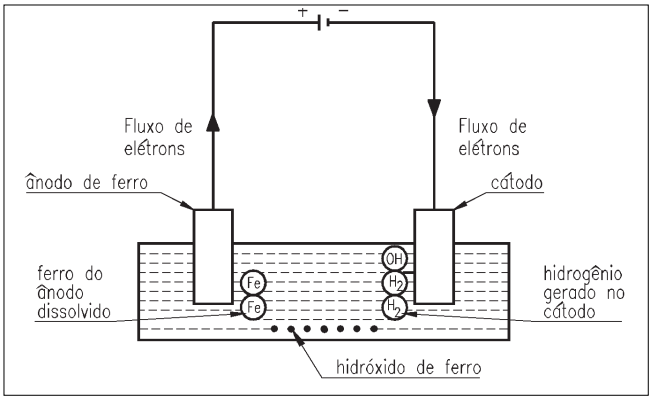
Na usinagem, as velocidades de remoção de material exigidas são muito maiores que as necessárias no processo de polimento. Este problema é contornado trabalhando-se com densidades elevadas do eletrólito, sob baixas tensões e mantendo-se reduzida a distância (GAP) entre os eletrodos.

AULA
78

Princípios básicos de funcionamento

Para entender como a usinagem eletrolítica é usada para conformar metais, é importante saber o que se passa dentro de uma célula eletrolítica.

Imagine uma cuba cheia de eletrólito (solução aquosa de cloreto de sódio) com dois eletrodos de ferro, mergulhados na solução, como mostra a figura a seguir. Um dos eletrodos é polarizado positivamente (ânodo), e o outro é polarizado negativamente (cátodo).



Nos metais, a condução de corrente é assegurada pelos elétrons. Nos eletrólitos, ela é obtida por transferência de cargas dos íons.

Numa solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl), os íons de sódio são positivos e os de cloro são negativos. A representação química dessa expressão é:

$$NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl^{-}$$

A própria água tende a se dissociar:

$$H_2O \rightarrow H^{+} + OH^{-}$$

A passagem de corrente através de um eletrólito é, portanto, acompanhada de transferência de matéria. Sob ação de uma diferença de potencial, o campo elétrico criado entre os dois eletrodos provoca movimento dos ânions (–) para o ânodo e migração dos cátions (+) para o cátodo.

Quando uma diferença de potencial é aplicada entre os dois eletrodos, muitas reações podem ocorrer entre o ânodo e o cátodo. Uma das reações mais prováveis é a dissolução do ferro, representada quimicamente como segue:

$$Fe + 2\,H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2\uparrow$$

Em outras palavras: um átomo de ferro reage com duas moléculas de água, formando hidróxido de ferro II e liberando hidrogênio (H_2). O eletrólito permanece inalterado.

Apenas sua concentração aumenta, pelo progressivo desaparecimento da água. A retirada de material se dá átomo por átomo, segundo as leis de **Faraday**:

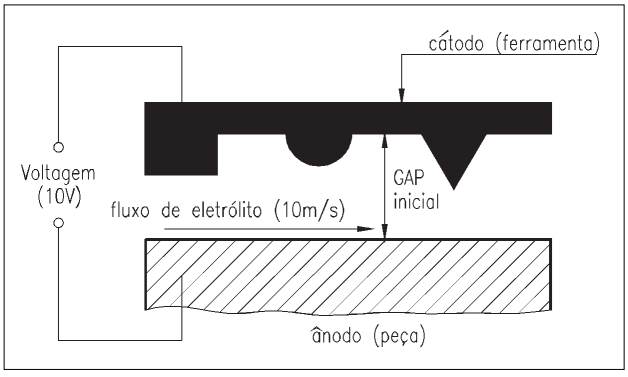
- a quantidade de matéria removida ou depositada é proporcional à intensidade de corrente elétrica;
- as quantidades de diferentes substâncias retiradas ou depositadas por uma mesma intensidade de corrente são proporcionais a sua **valência-grama**.

Para dissolver anodicamente um metal de valência 2, é necessário fornecer 2 elétrons, por átomo de metal a remover. A quantidade máxima de metal que pode ser dissolvida não depende da natureza do eletrólito, nem da dureza ou outras características do metal, mas sim das seguintes grandezas físicas: densidade da corrente, tempo, massa atômica e valência do metal.

Valência: capacidade de um átomo de formar ligações químicas. A valência de um átomo indica quantas ligações ele pode formar com outro átomo.

Visualizando a usinagem eletroquímica

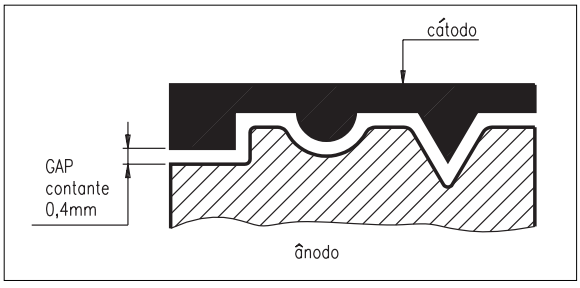
A peça a ser usinada e a ferramenta constituem o ânodo e o cátodo, respectivamente, mergulhadas num eletrólito, que pode ser uma solução de cloreto de sódio. Uma diferença de potencial, geralmente de 10 volts, é aplicada entre os eletrodos. A figura a seguir mostra a peça e o eletrodo em representação esquemática.



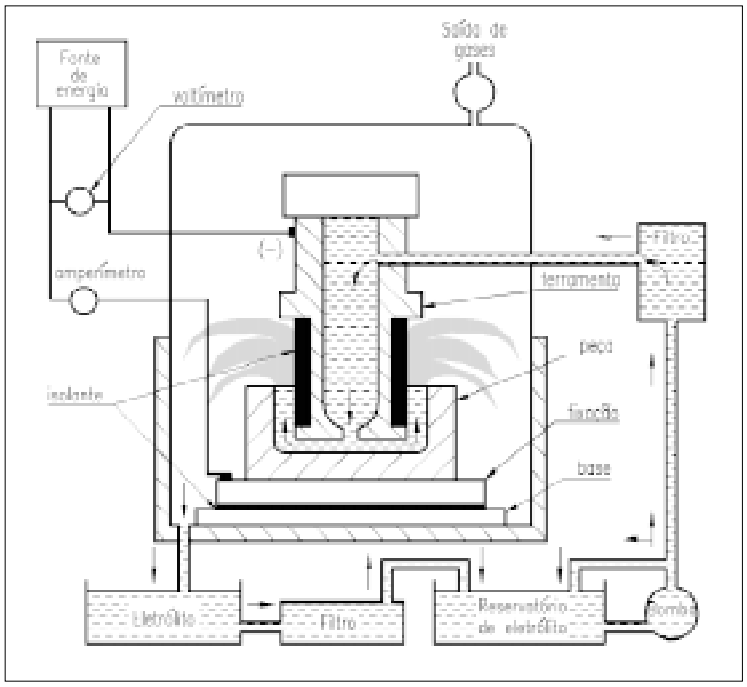
O eletrólito é bombeado numa velocidade aproximada de 3 a 30 m/s, através do GAP entre os eletrodos, para remover os resíduos da usinagem e diminuir os efeitos indesejáveis, como os decorrentes da geração de gás pelo cátodo e aquecimento elétrico.

A velocidade de remoção do metal do ânodo ocorre, aproximadamente, na proporção inversa da distância entre os eletrodos.

À medida que a usinagem prossegue, e com o movimento simultâneo do cátodo em direção ao ânodo, a largura do GAP, ao longo do eletrodo tenderá a apresentar um valor fixo. Sob essas condições, uma forma aproximadamente complementar àquela do cátodo será reproduzida no ânodo.



A usinagem eletroquímica pode ser feita em máquinas de pequeno ou grande porte. Uma máquina pequena (500A) é adequada, por exemplo, para furação e retirada de rebarbas. A figura a seguir mostra a representação esquemática de uma máquina desse tipo.



Importância do eletrólito

O papel fundamental do eletrólito é permitir a passagem da corrente elétrica, para tornar possível a dissolução anódica durante toda a usinagem. A natureza do eletrólito deve ser tal que não permita a formação de produtos insolúveis, que poderiam neutralizar o ânodo.

As reações que ocorrem no cátodo também não podem ser menosprezadas: é necessário evitar qualquer depósito metálico que venha a alterar a forma do eletrodo-ferramenta e diminuir a exatidão de sua reprodução.

O eletrólito deve possuir alta condutibilidade, deve conservar suas características e deve poder ser regenerado facilmente.

Um fator que merece atenção é que na usinagem eletrolítica pode ocorrer a formação de produtos tóxicos, dependendo do eletrólito utilizado.

Para finalizar, vale a pena enumerar algumas vantagens e limitações da usinagem eletroquímica.

Vantagens:

- qualquer material condutor pode ser usinado por este método;
- a velocidade de retirada do material permite a obtenção de estados de superfície rigorosos, sem danos à estrutura do metal;
- formas complexas podem ser reproduzidas por este método;
- não há desgaste da ferramenta;
- é possível controlar a quantidade de material removido.

Inconvenientes:

- problemas devidos à corrosão;
- dificuldades próprias do processo de eletrólise;
- existência de elevadas pressões hidráulicas;
- dificuldades para ajustagem da ferramenta.

Evidentemente, os métodos de usinagem estudados nesta aula e na anterior são bastante complexos, e a abordagem feita não passou de uma breve introdução ao assunto, com a finalidade de apresentar uma visão geral dos princípios e mecanismos de funcionamento de cada método. Mas se você tiver interesse, não perca tempo. Procure aprofundar-se mais nesses assuntos, recorrendo à bibliografia indicada. A expectativa é que esses métodos que hoje são tecnologia de ponta, venham a se transformar, por sucessivos aprimoramentos, no "arroz-com-feijão" do próximo século.

Pare! Estude! Responda

Assinale **V** (verdadeiro) ou **F** (falso).

Exercício 1

a) ( ) O processo de usinagem química envolve dissolução do material, enquanto o processo de usinagem eletroquímica funciona por transporte de material.

b) ( ) A energia do processo de usinagem química é gerada por uma fonte externa.

c) ( ) Durante a usinagem eletroquímica, o eletrólito pode ter efeito corrosivo sobre o material do recipiente de usinagem.

d) ( ) Na usinagem química não há necessidade de ferramenta específica.

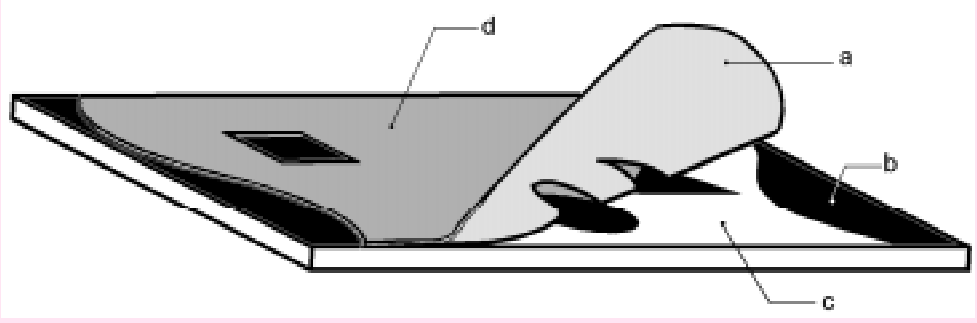
Exercício 2

Na usinagem química, é usada uma máscara feita de material:

a) ( ) corrosivo;
b) ( ) insensível ao agente corrosivo;
c) ( ) metálico;
d) ( ) com elevada valência-grama.

Exercício 3

Observe o desenho abaixo, que mostra uma chapa sobre a qual foi aplicado um gabarito e, posteriormente, uma camada de tinta (parte escura). Assinale a letra que corresponde à parte que será atacada quimicamente.



a) ( );
b) ( );
c) ( );
d) ( ).

Exercício 4

Na usinagem eletroquímica, o fluxo de elétrons:

a) ( ) vai do cátodo para o ânodo;
b) ( ) sai do eletrólito;
c) ( ) vai do ânodo para o cátodo;
d) ( ) caminha tanto do ânodo para o cátodo como do cátodo para o ânodo.

Exercício 5

Na usinagem eletroquímica, o GAP entre os eletrodos é inversamente proporcional:

a) ( ) à velocidade de corte;
b) ( ) à quantidade de material removido;
c) ( ) à intensidade de corrente aplicada;
d) ( ) à voltagem aplicada.

AULA

79

Comparação dos métodos de usinagem

Você usaria um canhão para acabar com um formigueiro? Compareceria a um Congresso de Fisiologistas usando um maiô? Faria uma viagem de Aracaju a Maceió num supersônico Concorde?

É claro que não! O bom senso ensina que cada coisa tem a sua hora e o seu lugar. É por isso que você certamente não recomendaria uma máquina de corte a laser para fazer um único furo cilíndrico em uma chapa de aço de 2 milímetros de espessura, que poderia muito bem ser feito com uma furadeira e uma broca comum.

Mas, no universo da Mecânica, as fronteiras entre uma decisão equilibrada e uma decisão estapafúrdia nem sempre são tão claras.

Diante dos muitos métodos e processos de produção disponíveis, dos múltiplos aparatos tecnológicos, saídos dos laboratórios de pesquisa para os setores de produção e da sedução exercida pela novidade e pelos modismos, não são poucos os profissionais da área que encontram dificuldades para discernir qual a melhor solução para cada necessidade de produção.

Na verdade, não existe uma regra geral para chegar a uma decisão correta. É preciso, em cada caso, comparar os custos e as condições técnicas. Sobretudo, é preciso que se tenha conhecimento e informações sobre as opções disponíveis, para poder avaliar criteriosamente o interesse industrial de cada método de trabalho.

Estudando os diversos métodos de produção nas aulas anteriores, você adquiriu uma visão geral de cada caso. Nesta aula, você terá a oportunidade de comparar os diversos métodos, e identificar os prós e contras de cada um deles, de acordo com determinados critérios apresentados.

Métodos clássicos de usinagem

Nossa aula

As máquinas-ferramenta clássicas realizam, com muita facilidade, movimentos retilíneos e de rotação. Com elas, é possível conseguir exatidão em superfícies planas e superfícies de revolução. Combinações simples permitem obter formas helicoidais (roscas e perfis de dentes de engrenagens) e superfícies combinadas (perfis simultaneamente helicoidais e cônicos).

Perfis mais complexos podem ser obtidos por **reprodução**. Os pantógrafos para gravação de moldes e de matrizes e as laminadoras de roscas são exemplos desse tipo de máquinas.

Entre as máquinas de reprodução que funcionam por **abrasão**, merecem menção as retificadoras de cames cilíndricos, utilizadas para fabricação de calibradores, virabrequins, eixos-comando de válvulas etc. Essas máquinas funcionam com a ajuda de um gabarito, ou por comparação ótica de um traçado com o perfil da peça.

Para usinar peças de grandes dimensões, foi necessário acrescentar potência e massa a essas máquinas, o que tornou indispensável o uso de servomecanismos, comandados por embreagens magnéticas, distribuidores hidráulicos ou amplificadores eletrônicos, com evidentes reflexos sobre o seu preço.

O fator econômico não deve ser negligenciado, pois interfere na avaliação do interesse industrial de cada método de trabalho.

A viabilização técnica e econômica dos novos métodos não implica, contudo, o desaparecimento das formas tradicionais de trabalho.

É possível prever que as máquinas de reprodução clássicas, associadas a equipamentos de comando numérico, serão reservadas para os trabalhos em grandes séries. Para que seja econômico atribuir-lhes tarefas menos repetitivas, é necessário que a quantidade de material a retirar seja grande e que a quantidade de peças a reproduzir compense os gastos com o ferramental.

Agrupando os novos métodos

Uma maneira interessante de formar uma visão de conjunto, consiste em agrupar os diversos métodos em função dos atributos comuns que apresentam.

Um fator importante na análise dos métodos de produção é a **natureza da energia** envolvida no processo.

De acordo com a **natureza energética,** podemos agrupar os métodos avançados de usinagem estudados neste módulo em quatro categorias, a saber: mecânica, química, eletroquímica e eletrotérmica, como mostra o quadro a seguir.

Natureza energética do processo	Modo de remoção do material	Nome do processo
Mecânica	• por erosão	- usinagem por jato de água - usinagem por jato de água com abrasivo - usinagem por ultra-som
Química	• por reações químicas	- usinagem química
Eletroquímica	• por reações eletrolíticas	- usinagem eletroquímica
Eletrotérmica	• por fusão / vaporização	- usinagem a laser - usinagem por plasma - usinagem por feixe de elétrons - usinagem por eletroerosão

Este quadro põe em evidência o modo de remoção de material em cada um dos métodos avançados estudados. Por outro lado, nos processos tradicionais de usinagem, o arranque de material se dá, em geral, por cisalhamento.

Outro aspecto importante a considerar refere-se aos campos de aplicação destes novos processos de usinagem, destaque do quadro a seguir.

PROCESSO	APLICAÇÕES
Eletroerosão Eletroquímica Plasma	Usinagens diversas em materiais condutores
Ultra-som Ultra-som rotativo	Usinagens diversas em materiais maus condutores
Feixe de elétrons Jato de água Jato de água com abrasivo Laser	Microusinagem
Química	Usinagem de peças delicadas

Este quadro serve como referência para a seleção do método de trabalho. Você fica sabendo, por exemplo, que a eletroerosão aplica-se somente a materiais condutores. Conseqüentemente, não se presta à usinagem de materiais maus condutores, como a madeira, as resinas etc., das quais habitualmente são feitas as matrizes, protótipos e moldes para fundição.

A usinagem eletroquímica também só se aplica a corpos condutores. Óxidos isolantes ou materiais vitrificados são obstáculos ao uso desse método.

O corte por plasma é outro método aplicável apenas a metais condutores, como o aço inoxidável, o alumínio e outros metais não-ferrosos, tendo surgido como uma alternativa ao oxicorte, que não era aplicável aos materias acima por gerar reações químicas.

Numa segunda categoria, a dos métodos aplicados a materiais maus condutores, destacam-se o ultra-som e o ultra-som rotativo. Estes métodos são especialmente adequados para a usinagem de materiais frágeis, duros ou quebradiços, como o vidro, a cerâmica e o diamante.

Quando o objetivo é a microusinagem, o campo de escolha do método pode recair sobre o feixe de elétrons, o jato de água ou o laser.

Entretanto, uma análise mais acurada de qualquer desses métodos é necessária, antes da definição do procedimento a adotar. Por exemplo, o feixe de elétrons pode levar a alterações da estrutura cristalina, na região de corte, o que o tornaria contra-indicado para usinagem de aços com alto teor de carbono, onde um endurecimento da superfície não é desejável.

Como você vê, certas condições impõem um procedimento particular: alguns materiais não podem ser atacados por abrasão, por eletroerosão ou por eletrólise. Uma fresa não pode usinar uma forma reentrante, que um eletrodo facilmente usinaria. Alguns materiais excluem a possibilidade de usinagem eletrotérmica. O feixe de elétrons produz grande exatidão, mas só se justifica sua aplicação para dimensões reduzidas.

Ou seja, uma visão de conjunto das diferentes técnicas é sempre indispensável para julgar com conhecimento de causa, sem deixar de lado os procedimentos convencionais, facilmente ignorados, embora mais econômicos em algumas situações.

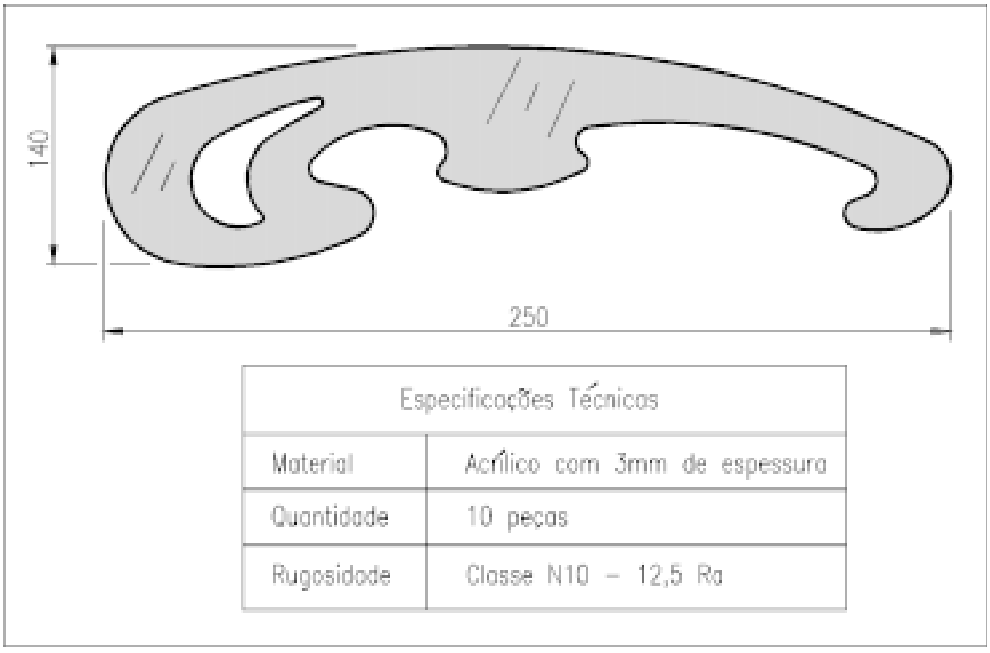
O quadro da página 148 apresenta uma visão comparativa geral dos processos convencionais e dos processos avançados de usinagem. Vale lembrar que as variáveis analisadas nesse quadro não esgotam todas as possibilidades que devem ser avaliadas na determinação de um método particular de trabalho.

Resolvendo um problema

Uma microempresa especializada em usinagem eletroquímica distribuiu um folheto de divulgação com o seguinte apelo de vendas:

"Envie um desenho técnico ou um croqui com as dimensões e nós realizaremos todos os demais serviços em nossa própria indústria."

Um cliente interessou-se pela oferta e encaminhou o croqui abaixo.



Pare! Pesquise! Responda!

Analise o desenho e as especificações apresentadas pelo cliente e dê um parecer sobre a viabilidade de executar o serviço solicitado, por usinagem eletroquímica.

Caso este método não seja aplicável, oriente o cliente sobre o método mais indicado para produção da peça.

Consulte o quadro comparativo dos métodos de usinagem, para uma primeira avaliação da situação. Isso permitirá fazer uma pré-seleção dos métodos aplicáveis.

Depois, consulte as aulas correspondentes, para relembrar as indicações e contra-indicações dos métodos selecionados.

Finalmente, compare o seu parecer com os argumentos apresentados a seguir.

Embora as formas da peça sejam complexas, o que tornaria recomendáveis os métodos de eletroerosão e usinagem eletroquímica, o fato de ser feita de um material mau condutor inviabiliza o uso desses métodos. Logo, você deverá encaminhar seu cliente para outro tipo de empresa.

Mesmo que fosse possível usinar o material por eletroerosão, o custo de confecção do eletrodo ficaria muito alto, o que tornaria o processo muito caro, por causa da pequena quantidade de peças a produzir.

Levando em consideração apenas as variáveis apresentadas no quadro, é recomendável a produção da peça por usinagem a laser, por apresentar as seguintes vantagens:

- não há necessidade de confecção de uma ferramenta específica, o que viabiliza o processo mesmo para uma pequena quantidade de peças;
- presta-se à usinagem de formas complexas, com relativa velocidade;
- presta-se à usinagem de peças delicadas, cujo risco de quebra é grande;
- apresenta bom acabamento de superfície.

Logo, o cliente deverá ser orientado para procurar uma empresa que preste serviços de usinagem a laser.

É lógico que numa situação real, muitos outros fatores deveriam ser levados em consideração. Mas se você chegou a uma conclusão semelhante à que foi apresentada, parabéns! Isso já é um bom começo. Lembre-se de que ainda há muito a aprender. Procure manter-se sempre atualizado.

Quadro comparativo dos métodos de usinagem (tradicionais e avançados)

Processos / Variáveis	Processos convencionais de usinagem	Processos avançados de usinagem								
	torneamento, fresamento, retificação, aplainamento etc.	Jato d'água	Laser	Oxicorte	Arco plasma	Eletroerosão	Química	Eletroquímica	Ultra-som	Feixe de elétrons
natureza energética	mecânica	mecânica	eletrotérmica	térmica	eletrotérmica	eletrotérmica	química	eletroquímica	mecânica	eletro-mecânica
agente de corte	cunha de corte	água sob pressão	radiação luminosa	alta temperatura	gases e alta temperatura	descarga elétrica	agente corrosivo	eletrólito	martelamento	elétrons
remoção do material	cisalhamento	erosão	fusão e vaporização	fusão	fusão e vaporização	fusão e vaporização	corrosão química	deslocamento de íons	erosão	fusão e vaporização
alterações na estrutura cristalina	não ocorre	não ocorre	localizada	não ocorre	não ocorre	não ocorre	não ocorre	não ocorre	não ocorre	localizada
velocidade de usinagem	variável, dependendo do processo	alta	alta	média	alta	baixa	baixa	baixa	baixa	alta
custo inicial de instalação	variável, de acordo com a precisão e o porte da máquina	alto	alto	baixo	médio	médio	baixo	médio	alto	alto
grau de acabamento	variável, de acordo com o processo	bom	bom	regular	médio	bom	bom	bom	bom	médio
materiais metálicos não ferrosos	aplicável	aplicável	aplicação limitada	não indicado	aplicável	aplicável	aplicável	aplicável	aplicável	aplicável
materiais maus condutores e não metálicos	aplicável	aplicável	aplicável	não indicado	não indicado	não aplicável	não indicado	não aplicável	aplicável	não indicado
formas complexas	apresentam muitas limitações	aplicável	recomendado	não indicado	aplicável	recomendado	recomendado	recomendado	aplicável	aplicável
peças delicadas	dependendo do processo, apresentam muitas limitações	aplicável	aplicável	não aplicável	aplicável	recomendado	recomendado	recomendado	aplicável	aplicável
microusinagem	não indicado	indicado	indicado	não aplicável	não recomendado	aplicável	indicado	indicado	indicado	indicado
materiais duros e frágeis	em materiais muitos duros, é possível somente por abrasão	indicado	indicado, com restrições	não indicado	aplicável	recomendado	aplicável	aplicável	indicado	aplicável

Notas:

não indicado = é possível realizar a usinagem, mas apresenta muitas contraindicações
não aplicável = a usinagem não é possível
aplicável = permite a realização da usinagem
recomendado = é o mais indicado para realizar a usinagem

Pare! Estude!
Responda!

Exercício 1

As máquinas-ferramenta clássicas apresentam muita dificuldade para usinar:

a) ( ) formas helicoidais;
b) ( ) formas angulares internas;
c) ( ) superfícies cônicas de revolução;
d) ( ) perfis complexos.

Exercício 2

Escreva **V** (verdadeiro) ou **F** (falso).

a) ( ) Com o advento dos novos métodos de usinagem, a tendência é o desaparecimento dos métodos tradicionais.
b) ( ) Os novos métodos de usinagem são sempre mais vantajosos que os métodos tradicionais.
c) ( ) Em cada situação, a escolha do método de produção depende de um conjunto de fatores, entre os quais viabilidade técnica e custos.
d) ( ) Todos os métodos avançados de usinagem encontram-se, ainda, em fase experimental.

Exercício 3

Na usinagem a laser, a natureza energética do processo é:

a) ( ) eletrotérmica;
b) ( ) química;
c) ( ) eletroquímica;
d) ( ) mecânica.

Exercício 4

Associe corretamente a coluna da esquerda com a coluna da direita.

Modo de remoção do material	Processo
a) erosão	**1.** ( ) usinagem por ultra-som
b) reações eletrolíticas	**2.** ( ) usinagem por feixe de elétrons
c) fusão / vaporização	**3.** ( ) usinagem por jato de água
d) reações químicas	**4.** ( ) usinagem por plasma

Exercício 5

Cite um exemplo de método avançado de usinagem aplicável a cada uma das situações a seguir:

a) microusinagem: .....
b) usinagem de materiais condutores: .....
c) usinagem de materiais maus condutores: .....
d) usinagem de peças delicadas: .....

AULA

80

Processos de fabricação: tendências e perspectivas

Quando um piloto de Fórmula 1 sobe ao pódio, o mérito pela vitória deve ser creditado não apenas a ele, mas também a toda uma equipe, que trabalhou em conjunto para que seu desempenho pudesse ser cercado de êxito.

Você já viu, por exemplo, o que acontece em cada parada no box: um grupo de profissionais altamente qualificados acerca-se do veículo e cada um faz a sua parte, com eficiência, para que o piloto possa ganhar alguns milésimos de segundo de vantagem em relação aos concorrentes. A troca de pneus, o abastecimento de combustível, a verificação das partes vitais do veículo, tudo isso é feito com o máximo cuidado, rapidez e coordenação de movimentos. Tudo funciona dentro de uma concepção sistêmica, em que as ações estão interligadas, influenciam-se mutuamente e contribuem para um resultado que só será obtido muitas voltas depois.

Nas empresas ocorre uma situação semelhante: para que a organização atinja seus objetivos, é necessário que seus colaboradores (funcionários de todos os níveis e prestadores de serviços em geral) trabalhem harmoniosamente, conscientes de que uma parcela do sucesso da empresa depende do grau e da qualidade do seu envolvimento no processo produtivo. Ou seja, pode-se considerar que toda empresa funciona como um sistema, voltado para a produção de bens ou serviços.

Os sistemas, por definição, são dinâmicos. Às vezes fica difícil, para quem está dentro do sistema, ter uma visão global das mudanças que estão ocorrendo.

O objetivo desta aula é ajudá-lo a olhar o sistema produtivo de fora, analisando as tendências e perspectivas de utilização dos processos de fabricação convencionais e avançados nesta virada de século.

Nossa aula

Há futuro para os métodos tradicionais de fabricação?

Com o surgimento das máquinas de eletroerosão, dizia-se que as limas passariam a ser peças de museu. Entretanto, não foi isso que ocorreu. As limas ainda são utilizadas em larga escala, para fazer pequenos ajustes, para tirar rebarbas de peças e até na confecção do próprio eletrodo empregado na eletroerosão.

É verdade que as limas têm pouco a evoluir e que não competem, no que diz respeito à exatidão, com as máquinas mais modernas. Apesar disso, tudo indica que ainda continuarão a ser utilizadas, coexistindo com outros métodos avançados de produção.

Os princípios básicos de funcionamento das máquinas mais modernas, como o torno CNC, por exemplo, são semelhantes aos das máquinas convencionais. Isso significa que o operador dessas máquinas deve ter o conhecimento dos processos básicos de usinagem em torno convencional, além dos conhecimentos específicos de operação do torno CNC.

Engana-se quem pensar que os métodos novos vieram para tomar lugar dos tradicionais. Seu objetivo é aperfeiçoar os métodos já existentes. Dessa forma, a tendência é que sejam reservados aos métodos tradicionais os serviços mais grosseiros, de produção em pequena escala.

O que esperar dos novos métodos de fabricação

De início, os métodos não tradicionais de usinagem eram reservados aos casos especiais, como materiais difíceis de usinar. Com a evolução tecnológica, foram levados à indústria convencional, onde passaram a representar considerável fonte de economia, em muitos casos.

As **máquinas de comando numérico** deverão estar reservadas, principalmente, aos trabalhos unitários, em pequenas séries. A elas será confiada a fabricação de protótipos, modelos, matrizes, eletrodos etc. A grande vantagem desses equipamentos está na flexibilidade que apresentam, pois podem usinar peças com diferentes perfis, com uma simples troca de programa.

As **máquinas de eletroerosão** poderão vir a concorrer com as máquinas de comando numérico. Seu preço horário é menor, o que compensa as menores taxas na remoção de material. Um atrativo deste método é que na confecção de eletrodos, em alguns casos, o acabamento manual é dispensável, o que torna a sua confecção mais rápida e mais econômica.

Além disso, na eletroerosão, a forma erodida da peça é bem definida, o que proporciona economia de tempo de ajuste, numa relação de montagem.

As **máquinas de usinagem eletrolítica**, confrontadas com as máquinas de eletroerosão, deverão ser reservadas aos trabalhos repetitivos, de média precisão.

Uma tendência mundial é a preferência por métodos **não** geradores de resíduos, para evitar impacto poluente sobre o meio ambiente.

De um modo geral, pode-se afirmar que o futuro dos métodos de fabricação está intimamente associado ao desenvolvimento de novos materiais, capazes de suportar esforços extremos nas mais adversas condições de trabalho (temperaturas muito altas e muito baixas, pressões anormais, velocidades elevadas etc.).

Por fim, ao que tudo indica, a indústria mecânica do século XXI será predominantemente comandada por sistemas eletrônicos e computadorizados.

O impacto social da evolução tecnológica

Cada vez mais os cérebros ganham importância em relação aos braços. Os novos métodos de produção permitem produzir mais, a preços mais baixos, utilizando menos mão-de-obra. Ou seja, as inovações tecnológicas e as mudanças administrativas incorporadas ao setor produtivo usam menos trabalho humano braçal, gerando menos empregos.

O desemprego é considerado um dos mais graves problemas mundiais. Segundo a OIT – Organização Internacional do Trabalho –, cerca de 900 milhões de pessoas, incluídas na faixa da população economicamente ativa, estão desempregadas ou subempregadas atualmente.

O grande desafio do próximo século é conciliar o aumento da capacidade de produção, proporcionado pelas inovações tecnológicas, com a capacidade de geração de trabalho.

Todo mercado produtor é sustentado por um mercado consumidor. À medida que diminui a oferta de trabalho, encolhe também o mercado consumidor, a ponto de comprometer o equilíbrio do sistema social.

É por isso que alguns países, como o Japão, estão começando a trilhar um caminho inverso, voltando a substituir, em alguns casos, o trabalho dos robôs por trabalho humano. Segundo esse novo enfoque, a robotização ficaria restrita aos trabalhos que pudessem acarretar riscos à saúde do trabalhador.

Outro aspecto importante é que as novas tecnologias não fazem discriminação quanto ao sexo: uma vez que o desenvolvimento do trabalho independe de força muscular, como era comum nos sistemas produtivos tradicionais, a mulher ganha espaço para competir, em igualdade de condições, com a força de trabalho masculina. Na prática, isso se traduz em aumento de participação feminina em áreas que anteriormente eram restritas ao sexo masculino.

Novas formas de organização do trabalho

O emprego formal, entendido como aquela atividade continuada, exercida por uma pessoa numa mesma empresa por muito tempo em uma tarefa específica, tal como o conhece grande parte da geração hoje engajada no mercado de trabalho, está com seus dias contados.

Num futuro próximo, tudo indica que as atividades profissionais serão exercidas de forma intermitente, na empresa ou fora dela. As pessoas deverão trabalhar em projetos, com começo, meio e fim. Terminado um projeto, poderão participar de novo projeto, na mesma empresa ou em outra. Em alguns casos, o trabalho será realizado na própria casa.

O profissional do futuro

Para enfrentar essa nova realidade, o profissional deverá ser **polivalente**, isto é, capacitado a desempenhar múltiplas funções. Já há exemplos dessa

tendência nos dias atuais: nas empresas onde vigora a filosofia de "qualidade assegurada", qualquer operador tem autoridade para interromper a produção, se detectar falhas, devendo pesquisar e executar as formas de correção. No sistema **TPM** (manutenção produtiva total), no qual a meta é "quebra zero", cada trabalhador é responsável pela conservação do equipamento que utiliza, o que inclui a realização de tarefas rotineiras de manutenção e limpeza. Isso valoriza o profissional, mantendo-o motivado a buscar atualização contínua.

Já entramos no mundo da **multifuncionalidade**. Logo não haverá mais trabalho para quem foi adestrado para fazer uma coisa só. Do trabalhador espera-se uma permanente disposição para aprender. O constante avanço tecnológico exigirá dos seres humanos a dedicação de uma grande parcela do seu tempo para aprender a dominar as inovações. Nesse mundo, só haverá trabalho para quem for capaz de aprender continuamente.

Pare! Estude! Responda!

Exercício 1

Analise o parágrafo a seguir, extraído de uma palestra proferida pelo professor José Pastore, em 1995.

> *Tudo indica que o mundo do trabalho do próximo milênio será completamente diferente do mundo atual. Para começar, o próximo milênio vai sacramentar a "morte do emprego" que já começou a acontecer. Não confundam com a morte do trabalho. Este vai continuar porque haverá muitas coisas a serem feitas. Mas o emprego está condenado a morrer.*

Na sua opinião, algo deve ser feito para evitar a "morte do emprego"? O quê? Por quê?

Exercício 2

Afirma-se que, no futuro, o mero adestramento em determinada profissão não mais será suficiente para qualificar a pessoa para trabalhar em um projeto complexo.
Você conhece exemplos atuais que ilustrem esta afirmação? O que poderia ser feito para evitar o mero "descarte" deste profissional?

Exercício 3

Reflita sobre todos os assuntos que você estudou neste módulo de Processos de Fabricação. Procure identificar em que medida esse estudo contribuiu para que você esteja mais preparado para enfrentar as novas condições do mercado de trabalho.

Gabaritos das aulas 61 a 80

Aula 61 - Corte com jato de água

1. d
2. b; c
3. a
4. d
5. b, c, d

Aula 62 - Corte com laser

1. d
2. b
3. a, b
4. a
5. c

Aula 63 - Oxicorte

1. Acetileno, hidrogênio, propano e butano.
2. Porque é o gás que apresenta mais alta potência de chama.
3. Jogar o maçarico no chão e sair correndo.
4. Vermelha.
5. No oxicorte manual, o movimento de corte é dado pelo operador; no semi-automático, o movimento é dado pelo operador, mas o maçarico desliza sobre guias; no automático, a máquina faz todos os movimentos.

Aula 64 - Corte plasma

1. c
2. a
3. d
4. c
5. d

Aula 65 - Metalurgia do pó

1. **a)** obtenção do pó;
   b) compactação do pó;
   c) sinterização propriamente dita.
2. O método de atomização serve para transformar em pó a matéria-prima que será utilizada no processo de sinterização.
3. A matéria-prima do processo é colocada num tambor que contém esferas de material duro. Quando este tambor é colocado para girar, as esferas chocam-se entre si e com o material, desintegrando-o.
4. Compactado verde é a massa de pó, já na forma final da peça, retirada da matriz, após a compactação.
5. Uma certa deformação da peça, na sinterização, é normal. Mas quando esta deformação ultrapassa os limites aceitáveis, a peça tem de ser recomprimida.

Aula 66 - Mandrilamento

1. c
2. d
3. b
4. b
5. a

Aula 67 - Brochamento

1. d
2. c
3. a
4. b
5. d

Aula 68 - Usinagem por eletroerosão

1. d
2. a
3. c
4. a
5. b

Aula 69 - Um caso de eletroerosão

1. 9,866 mm
2. **a)** V
   b) V
   c) F
   d) V
3. c
4. ≅ 7 A
5. 40 µm

Aula 70 - Pantógrafo

1. b
2. c
3. c
4. d
5. a

Aula 71 - Corte e dobra

1. c
2. d
3. a
4. c
5. a

Aula 72 - Repuxo

1. b
2. a
3. b
4. b
5. b

Aula 73 - Adesivos I

1. São substâncias capazes de manter meteriais unidos pela ligação das superfícies.
2. É a superfície a ser unida por adesivo.
3. É o conjunto de forças provenientes das interações químicas entre as partículas que compõem o adesivo.
4. São materiais monocomponentes que se solidificam à temperatura ambiente quando privados do contato com o oxigênio.
5. São revestimentos aplicados a uma superfície, antes da aplicação do adesivo, para melhorar o desempenho da adesão.

Aula 74 - Adesivos II

1. c
2. c
3. d
4. a
5. b

Aula 75 - Dobramento e curvamento

1. a
2. c

3. c
4. a
5. b

Aula 76 - Desempenamento

1. a
2. d
3. b
4. a

Aula 77 - Métodos avançados de usinagem: feixe de elétrons e ultra-som

1. b
2. a
3. b
4. d
5. c

Aula 78 - Usinagem química e usinagem eletroquímica

1. **a)** V
   b) F
   c) V
   d) V
2. b
3. c
4. c
5. a

Aula 79 - Comparação dos métodos de usinagem

1. d
2. **a)** F
   b) F
   c) V
   d) F
3. a
4. a
   c
   a
   c
5. **a)** feixe de elétrons, jato de água, laser.
   b) eletroerosão, usinagem química, usinagem por plasma.
   c) ultra-som, ultra-som rotativo.
   d) usinagem química.

Aula 80 - Processos de fabricação: tendências e perspectivas

Respostas livres

Bibliografia

AGA *Manual de solda e corte*. Rio de Janeiro, sem data.

AGA *Fatos sobre gases para lasers de* CO_2. . Rio de Janeiro, sem data.

AMARAL, Osmar do. **Repuxo**. FATEC/SP, 1995 (Apostila nº 8).

BLACKWOOD, O. H. *Física na escola secundária*. Trad. José Leite Lopes e Jayme Tiommo. São Paulo, MEC,1962.

BRASSINTER *Manual técnico de usinagem. Metalurgia do pó. ???*

CRUZ, C. Há inúmeras maneiras não tradicionais de usinar materiais. Conheça algumas. *Máquinas e Metais*, São Paulo, Aranda editora, p.80 - 89, maio, 1995.

KLOCZKOWSKI, R. L. Uma comparação entre sistemas de corte de metais com laser. *Máquinas e Metais*, São Paulo, Aranda editora, p.14-20, março, 1992.

MARTY, C. *Usinages par procédés non conventionnels*. Paris, Masson et Cie. Editeurs, 1971.

MASON, F. Cresce o uso de água e abrasivo para o corte de materiais. *Máquinas e Metais,* São Paulo, Aranda ed. p 12-31, abril, 1990.

MCGEOUGH, J. A. *Advanced methods of machining*. London, Chapman and Hall Ltd., 1988.

MÉROZ, R. e CUENDET, M. *As estampas - a eletroerosão, os moldes*. Trad. M. Teresa de Almeida, São Paulo, Hemus Ed. Ltda., 1980.

MIRANDA, M. M. E e outros *Gases e equipamentos para solda e corte oxiacetilênicos.* AGA, Rio de Janeiro, sem data.

OMOTE, N. *Física - série Sinopse*. 3ª ed. São Paulo, Ed. Moderna Ltda., 1982.

PASTORE, J. *O futuro do trabalho no Brasil e no mundo.* FIESP/CIESP/SESI/SENAI/IRS, Série "Referências para planejamento", 9, janeiro, 1995.

RAMALHO Jr., F. E OUTROS *Os fundamentos da Física.* 6ª. ed. São Paulo, Ed. Moderna Ltda., 1983.

RAMALHO, J. e JOAQUIM, R. *Soldagem*. Coleção: Tecnologia SENAI, no prelo, 1996.

SANDVIK *Fabricação e desenvolvimento do metal duro 1*. São Paulo

SENAI *Operador de máquinas de eletroerosão.* CBS: Coleção básica Senai, 1ª ed., São Paulo, 1981.

SENAI-SP *Oxicorte de chapas*. Por Dario do Amaral e outros. São Paulo, 1993, 43 p. (Serralheiro I, 13).

SENAI - SP, Divisão de Currículos e Programas / Divisão de Material Didático. *Tecnologia de caldeiraria*. Por Laércio Prando e outros. São Paulo, 1987, 405 p.

SILVA, L. R. *Metalurgia do pó*. Apostila, 1995.

SLIMP, R. Um guia para a escolha do melhor material eletródico para sua máquina de eletroerosão. *Máquinas e Metais*, Aranda editora, São Paulo, p.42 - 55, janeiro, 1995.

Para suas anotações